

Kvantefysikk i skolen

En undersøkelse av fysikkelevers
forståelse av kvantefysikk og en analyse
av dette emnets status i skolefysikken

Av Rolf V. Olsen

Hovedfagsoppgave i realfagsdidaktikk

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet og
Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling
Universitetet i Oslo
November 1999

1	INNLEDNING	5
1.1	VÅRE ELEVERS MØTE MED KVANTEVERDENEN.....	5
1.2	BAKGRUNN OG BEGRUNNELSE FOR VALG AV PROBLEMSTILLING	6
1.3	PRESISERING OG AVGRENSNING AV PROBLEMSTILLING	7
1.3.1	Formulering av problemstilling	7
1.3.2	Avgrensning av problemstilling	8
1.4	TIMSS	9
1.4.1	Generelt om TIMSS.....	9
1.4.2	Testen for fysikkspecialister.....	10
1.4.3	TIMSS i Norge.....	10
2	TEORI.....	13
2.1	FAGDIDAKTIKK, REALFAGDIDAKTIKK OG FYSIKKDIDAKTIKK.....	13
2.1.1	Et konstruktivistisk syn på læring.....	14
2.1.2	Hva vil det si å forstå fysikk?	16
2.2	DET IBOENDE FORMIDLINGSPROBLEMET.....	17
2.3	KVANTEFYSIKK I SKOLEN	20
2.3.1	Begrunnelser og mål, del I.....	20
2.3.2	Kvantefysikk i undervisningsplaner, fagplaner og læreplaner.....	21
2.3.3	Kvantefysikk i dagens læreverk	26
2.3.4	Kvantefysikk i eksamen med ny plan.....	27
2.3.5	Lærernes syn på faget generelt og kvantefysikken spesielt.	29
2.4	OVERSIKT OVER RELATERT FORSKNING	30
2.4.1	Generelt.....	30
2.4.2	Atommodeller.....	31
2.4.3	Bølge-partikkel dualisme.....	34
2.4.4	Heisenbergs usikkerhetsrelasjon og sannsynlighet i kvantemekanikken.....	37
2.4.5	Fotoelektrisk effekt	37
2.4.6	Helhetsbildet som forskningen gir oss.....	38
3	METODE	41
3.1	VALIDITET OG RELIABILITET	41
3.1.1	Validitet.....	41
3.1.2	Reliabilitet.....	42
3.2	HVILKEN BETYDNING HAR OPPGAVEFORMATET FOR ELEVERS SVAR PÅ SPØRSMÅL?	43
3.2.1	Lukkede oppgaver	44
3.2.2	Åpne oppgaver	45
3.3	UTVELGELSE AV OPPGAVER FRA TIMSS-TESTEN	47
3.4	PILOTTEST FEBRUAR/MARS 1999	47
3.4.1	Oppgave 3.....	47
3.4.2	Oppgave 6.....	48
3.4.3	Oppgave 3 og 6 sett i sammenheng.....	48
3.4.4	Oppgave 4.....	48
3.4.5	Oppgave 5.....	48
3.4.6	Oppgave 7.....	48
3.5	DET ENDELIGE SPØRRESKJEMAET TIL ELEVENE.....	49
3.5.1	Bakgrunnsvariabler.....	49
3.5.2	Holdningsfaktorer	50
3.6	LÆRERSPØRRESKJEMAET	50
3.7	UTVALG.....	51
3.7.1	Faktorer som styrer utvalgets størrelse.....	51
3.7.2	Utvelgning av elever	51
3.8	GJENNOMFØRINGEN AV UNDERSØKELSEN	52
3.9	BEARBEIDING OG ANALYSE.....	53
3.9.2	Korrekthetsanalyse.....	53
3.9.3	Innholdsanalyse	54
3.9.4	Analyse av læreplanene.....	55
3.9.5	Analyse av læreverkene.....	55

3.10 FORMIDLING AV OPPGAVEN.....	55
4 RESULTATER OG DRØFTINGER	57
4.1 BAKGRUNNSINFORMASJON	57
4.1.1 <i>Kjønnsfordeling og karakter til 1. termin.....</i>	<i>57</i>
4.1.3 <i>Bruk av læreverk</i>	<i>59</i>
4.2 ELEVERS SYN PÅ KVANTEFYSIKK.....	59
4.3 NOEN RESULTATER FRA LÆRERSPØRRESKJEMAET	61
4.3.1 <i>Antall timer brukt til undervisning i kvantefysikk.....</i>	<i>61</i>
4.3.2 <i>Elevforsøk og lærerdemonstrasjoner</i>	<i>62</i>
4.4 FOTOELEKTRISK EFFEKT	63
4.4.1 <i>Oppgave 6</i>	<i>64</i>
4.4.2 <i>Oppgave 7</i>	<i>65</i>
4.4.3 <i>Oppgave 8</i>	<i>67</i>
4.4.4 <i>Oppsummering av oppgavene om fotoelektrisk effekt</i>	<i>69</i>
4.5 BØLGE-PARTIKKEL DUALISME.....	69
4.5.1 <i>Presentasjon av oppgave 4 og 5 og hensikten med disse</i>	<i>70</i>
4.5.2 <i>Presentasjon og drøfting av resultater på oppgave 4 og 5</i>	<i>70</i>
4.5.3 <i>Vurdering av oppgave 4 og 5</i>	<i>77</i>
4.5.4 <i>Presentasjon av oppgave 9, resultater og drøfting av disse.....</i>	<i>78</i>
4.5.5 <i>Oppsummering av oppgavene om bølge-partikkel dualisme.....</i>	<i>80</i>
4.6 HEISENBERGS USIKKERHETSRELASJON	81
4.6.1 <i>Presentasjon av oppgave 12 og oppgavens bakgrunn</i>	<i>81</i>
4.6.2 <i>Presentasjon og drøfting av resultater på oppgave 12</i>	<i>82</i>
4.7 ATOMMODELLER	83
4.7.1 <i>Presentasjon og drøfting av resultater på oppgave 10</i>	<i>83</i>
4.7.2 <i>Oppgave 11</i>	<i>85</i>
4.7.3 <i>En sammenlikning av elevenes svar på de to oppgavene.....</i>	<i>87</i>
4.7.4 <i>Vurdering av oppgave 10 og 11</i>	<i>88</i>
4.7.5 <i>Oppsummering av oppgavene om atommodeller.....</i>	<i>88</i>
4.8 KORREKTHETSANALYSE AV HELE TESTEN	90
4.8.1 <i>Presentasjon av kriteriene for poenggivning</i>	<i>90</i>
4.8.2 <i>Fordeling av totalskåre. Skåregrupper</i>	<i>91</i>
4.8.3 <i>Oppgavenes diskrimineringssevne.....</i>	<i>91</i>
4.8.4 <i>Reliabilitet.....</i>	<i>93</i>
4.8.5 <i>Totalskåre vs holdningsindikator</i>	<i>93</i>
4.8.6 <i>Totalskåre og kjønn.....</i>	<i>94</i>
4.8.7 <i>Skåregruppe og undervisningstid.....</i>	<i>94</i>
4.8.8 <i>Oppsummering av korrekthetsanalysen</i>	<i>95</i>
5 SAMMENFATNINGER AV FUNN OG KONSEKVENSER FOR UNDERVISNING.....	98
5.1 OPPSUMMERING AV FUNN.....	98
5.2 BEGRUNNELSER OG MÅL, DEL II	101
5.3 MULIGE KONSEKVENSER FOR UNDERVISNING	103
REFERANSELISTE	106
VEDLEGG 1: ELEVSPØRRESKJEMA	112
VEDLEGG 2: LØSNINGSFORSLAG TIL ELEVENE	124
VEDLEGG 3: LÆRERSPØRRESKJEMA.....	129
VEDLEGG 4: INFORMASJONSBREV TIL LÆRERNE	131
VEDLEGG 5: INFORMASJONSBREV TIL REKTOR.....	132
(VEDLEGG 6: Kommunikasjon med en deltagende skole, fjernet av personvern hensyn)	
VEDLEGG 7: PILOTUNDERSØKELSEN.....	133

VEDLEGG 8: RAPPORT TIL LÆRERNE	139
---	------------

1 Innledning

Elementary particles seem to be waves on Mondays, Wednesday and Fridays, and particles on Tuesdays, Thursdays and Saturdays.

(Sir William Bragg, sitert i Mashhadi 1996)

1.1 Våre elevers møte med kvanteverdenen

Noe av det siste våre 3FY-elever får undervisning i, er kvantefysikk. Dette er imidlertid ikke første gang elevene møter beskrivelser av det minste i verden, kvanteverdenen. De møter denne verdenen tidlig i skolen i forbindelse med innføringen av begreper som molekyler og atomer. De får som en del av dette, en innføring i en partikkelmodell som skal være i stand til å forklare fysiske egenskaper som trykk og temperatur, og de får en innføring i kjemiske reaksjoner som baserer seg på en konkret skallmodell for atomet. Det er gjort ganske mange studier på yngre elevers forestillinger om disse minste byggesteinene. Et viktig funn er bl. a. at mange elever på dette alderstrinnet ikke griper tak i det at de makroskopiske effektene er en samlet, kollektiv effekt som ikke kan overføres til partiklene selv. Istedet oppfatter disse elevene molekyler/atomer som den minste delen man kan dele makroskopiske objekter inn i på en måte som gjør at disse minste delene bevarer egenskapene til det makroskopiske objektet (Andersson 1990, Johnson 1998). Eksempler kan være at siden svovel er gult, så er svovelatomet også gult, i varmt vann er også vannmolekylene varme.

I forbindelse med denne tidlige innføringen får elevene ofte presentert en relativt konkret modell for atomer, preget av at atomet består av en liten kompakt kjerne, med elektroner rundt. Ved hjelp av denne modellen kan man forklare enkle kjemiske reaksjoner.

I 2FY-kurset utvikles partikkelmodellen for gasser. Man behandler en idealgass hvor hvert enkelt molekyl eller atom ses på som en elastisk kule som befinner seg i et kaotisk samvirke med utallige atomer og molekyler. Den totale makroskopiske effekten av dette kaoset er imidlertid forutsigelig gjennom de statistiske lovene som beskriver systemet. På den måten kan sammenhengen mellom trykk, tetthet, volum og temperatur forklares¹. Uansett om elevene lykkes eller ikke i å få en god forståelse av termodynamikken, så vil alle elever gjennom dette arbeidet sannsynligvis ha fått forsterket sitt syn på at objekter på atomnivået følger de samme reglene som objekter i den vanlige verdenen. Det er klassiske partikler som følger klassiske regler.

Senere i 2FY-kurset, og spesielt i 3FY kurset i den videregående skolen, forventer vi at elevene skal ta til seg elementer av kvantefysikk som bl. a. forteller elevene at dette konkrete synet på atomet ikke er forenlig med dagens kunnskaper om kvanteverdenen. Imidlertid er det første møtet med kvantefysikken ofte preget av semiklassiske modeller som Bohr-modellen. Også i dette møtet kan eleven beholde og forsterke sin konkrete, mekanistiske oppfatning av atomer og elektroner (Fischler og Lichtfeldt 1992a). Møtet med lys gjennom fotoelektrisk effekt gjør neppe saken bedre ved at det gir eleven kunnskap om at lys er som andre partikler og kan utveksle energi og bevegelsesmengde. Min grunnholdning er at jeg tviler på om dette er en god begynnelse på en prosess som skal lede eleven inn i kvantefysikken og gi eleven en mulighet til å innse at verden på dette nivået, og teorien om denne verden, er fundamentalt

¹ Som lærer erfarer man imidlertid at elever har problemer med å argumentere for slike fenomener på en konsistent måte. Problemet kan bestå i at de ikke har trening i å bygge argumenter som involverer mer enn to variable (Rozier m. fl. 1991).

annerledes enn makroverdenen slik vi kjenner den gjennom våre egne sanseerfaringer og den klassiske fysikken.

Alt det som har blitt nevnt ovenfor, tilsier at utfordringene som vi står ovenfor når vi skal gi elever det første blikk inn i kvantefysikken, er spesielle. Vi vet i dag lite om hvilket forhold elever har til denne delen av fysikken etter at de har fått den første elementære innføringen, og forskning på dette er derfor viktig. Min oppgave er et lite bidrag til dette arbeidet.

1.2 Bakgrunn og begrunnelse for valg av problemstilling

Realfagdidaktikk er et relativt ungt og voksende fagområde som spenner vidt. Dette gjenspeiler seg i de hovedfagsoppgaver og doktorgradsoppgaver som er innlevert ved Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling (ILS) ved Universitetet i Oslo. Nasjonalt og internasjonalt gjenspeiler imidlertid denne mangslungne forskningen en tilsynelatende felles plattform i en teoriramme som kalles konstruktivismen. Å beskrive kort hva som er kjernen i konstruktivismen, er langt fra trivielt og det er kanskje ikke mulig. I denne forbindelsen vil jeg kortfattet si at konstruktivismen gir et syn på læring som erkjenner at elevene aktivt konstruerer sine egne mentale avbildninger av verden rundt seg. Jeg vil forsøke å beskrive denne ideologiske plattformen noe nærmere i avsnitt 2.1.1

Som en konsekvens av dette dominerende læringssynet er mye av forskningen i realfagdidaktikk rettet mot å kartlegge elevens egne avbildninger eller forestillinger av teorier, modeller og begreper i fysikkfaget. Duit og Pfundt (1994) har laget en bibliografi som samler denne forskningen. Her ser man at fagfeltene mekanikk og elektrisitet dominerer. Det er imidlertid påfallende lite forskning som er gjort innen de delene av fysikkfaget som kan kalles moderne fysikk. Duit sier selv i sin innledningsartikkel:

The area of modern physics, for instance, does not appear to be greeted with much enthusiasm by students' conceptions researchers.

(Duit m. fl. 1994, s. xxvii.)

Jeg ønsket i mitt hovedfagsarbeid å arbeide med en relativt åpen problemstilling knyttet til et fysikkfaglig område som ikke hadde vært gjenstand for så mye oppmerksomhet. Det var derfor naturlig for meg å velge en problemstilling knyttet til våre fysikkelevens forståelse av sentrale begreper i moderne fysikk.

Moderne fysikk er ikke ett spesifikt fagfelt. Biofysikk, astrofysikk og faste stoffers fysikk er noen få eksempler som viser hvor vidt dette spenner. I bunnen for mye av denne kunnskapen ligger en felles referanseramme til bl. a. kvantemekanikk og relativitetsteori. Jeg har alltid vært fascinert av kvantemekanikkens mystiske verden. Jeg ønsker derfor å se nærmere på elevens forståelse av kvantefysikk.²

Etter at jeg selv valgte meg denne meget generelle rammen for problemstilling har forskningen vist en voksende trend. På den store årlige konferansen til National Association for Research in Science Teaching ble det i 1999 samlet flere artikler som omhandlet dette temaet. I innledningen til denne samlingen påstår Zollman:

² Med **kvantemekanikk** mener jeg den fundamentale, matematiserte og suksessfulle teorien som beskriver verden på det atomære og subatomære nivået. **Kvantefysikk** brukes her som et videre begrep hvor vi også inkluderer de kvalitative tolkningene, analogiene og metaforene som brukes i formidlingen av faget i skolen.

In recent years research in student understanding of quantum science has increased greatly.

(NARST 1999, s. 1)

Dette er etter min mening en smule overdrevet. Det er fortsatt et behov for grunnleggende forskning på dette fagfeltet. En mulig kategorisering av forskningsspørsmål, med noen eksempler, kan være:

a) Overordnede spørsmål: Er det overhodet mulig å «forstå» kvantefysikk? Hva skal vi mene når vi sier at elevene skal forstå kvantefysikk? (Se avsnitt 2.1.2) Hva er forholdet mellom den kvantefysiske beskrivelsen av verden og verden i seg selv (hvis man da overhodet kan akseptere at verden i seg selv er interessant i lys av kvantefysikken)?

b) Læringspsykologiske spørsmål: Hvilken forståelse har elever av sentrale begreper og lover i kvantefysikken? Kan man forvente at elever i møte med kvantefysikken er i stand til å reorganisere den kunnskapen de allerede har, og erfare et slags personlig paradigmeskifte?

c) Spørsmål knyttet til undervisningen av begrepene i de ulike fag og skoleslag: Hva bør man undervise i innledende kvantefysikk i den videregående skole? I hvilken grad kan praktisk arbeid inngå i undervisningen av kvantefysikk i dette skoleslaget? Er det mulig å formidle sentrale aspekter ved kvantefysikken uten å involvere den matematiske formalismen som teorien bygger på?

Alle disse problemstillingene kan sies å være didaktiske spørsmål knyttet til fysikkfaget. Jeg vil i kapittel 2.1 komme nærmere inn på hva vi egentlig skal mene med fagdidaktikk. Når denne grove skissen av forskningsspørsmål tas opp her, er det for å få plassert min egen problemstilling i en større ramme.

Jeg har også som mål at denne oppgaven, i sin helhet eller i form av et sammendrag, skal være av interesse for fysikklærere i den videregående skolen. Dette har påvirket utformingen av min problemstilling på den måten at jeg har tatt utgangspunkt i sentrale emner i fysikkfaget i den videregående skole.

1.3 Presisering og avgrensning av problemstilling

Jeg formulerer her en problemstilling som består av flere mer presise underpunkter. Uansett hvor presist man prøver å formulere en problemstilling, er min erfaring at den lett kan bli for omfattende og utflytende. Det er derfor viktig innledningsvis også å formulere avgrensningene i oppgaven.

1.3.1 Formulering av problemstilling

Jeg ønsker i mitt arbeid å beskrive hvilken forståelse elevene i 3FY har av sentrale begreper i kvantefysikk. Jeg ønsker også å beskrive hvilken status kvantefysikken har og har hatt i fysikkfaget i den norske skolen

Mer presist ønsker jeg å:

- beskrive elevenes forståelse av fotoelektrisk effekt.
- beskrive elevenes forståelse av elektronets og fotonets/lysets natur og drøfte hvorvidt denne forståelsen er forenlig med en kvantefysisk beskrivelse.
- beskrive elevenes forståelse av Heisenbergs usikkerhetsrelasjon før og etter innføringen av den nye læreplanen i faget.

d) beskrive elevenes forestillinger om atomets oppbygging og drøfte i hvilken grad disse forestillingene er forenlige med en kvantefysisk atommodell.

e) drøfte alle de ovennevnte problemstillingene i forhold til eksisterende forskningsresultater.

f) oppsummere og beskrive kvantefysikkens posisjon i de norske fysikkursene i den videregående skolen i perioden 1964 og fram til i dag ved å se på undervisningsplanene/fagplanene/læreplanene som har eksistert i denne perioden. Jeg legger vekt på å sammenlikne dagens plan og forløperen til denne. I en videre beskrivelse av kvantefysikkens posisjon, er det også interessant å se på hvordan lærere og elever vurderer denne delen av faget.

g) gi en kort beskrivelse av de tre læreverkene som eksisterer.

h) gi en kort drøfting av oppgavene som ble gitt i et psykometrisk perspektiv.

Relaterer vi disse formuleringene til de tre punktene i forrige avsnitt, ser vi at jeg har valgt problemstillinger hovedsakelig fra båsen som jeg kalte læringspsykologiske spørsmål.

1.3.2 Avgrensning av problemstilling

Det er viktig å merke seg at denne problemformuleringen ikke bare sier noe om hva jeg ønsker å gå inn på, men også hva jeg ikke kommer til å berøre i særlig grad. Jeg vil derfor i dette avsnittet forsøke å avgrense dette noe.

Drøftinger av grunnlagsproblematikk innenfor kvantefysikken er ikke et tema jeg ønsker å diskutere nærmere i denne sammenhengen. En leser med god innsikt i kvantemekanikk vil muligens savne dette enkelte steder. Jeg vil imidlertid berøre det jeg velger å kalle kvantefysikkens iboende formidlingsproblem. Hva dette består i antydes av sitatet som innledet dette kapitlet. Et sentralt tema i skolefysikken har f. eks. vært bølge-partikkeldualismen, en fortolkning fra tidlig kvantemekanikk som jeg og andre (f. eks. Fischler m. fl. 1992a) antar gir opphav til mange ulike forestillinger av elektroner og fotoner.

Det er også viktig å registrere at jeg har tatt utgangspunkt i å beskrive kvantefysikkens posisjon og status i den videregående skolen. Dette har vært meget styrende og ekskluderte tema som kausalitet versus ikke-kausalitet, lokalitet versus ikke-lokalitet og det vil utelukke *kvantemekanikken* som sådan (tilstandsbegrepet, Pauli-prinsippet, korrespondanseprinsippet, komplementaritetsprinsippet, den formelle matematiseringen hvor begreper som egenverdier, egenfunksjoner, operatorer og Schrödingerlikningen er sentrale, bare for å nevne noen). Dette reflekterer også delvis min fysikkfaglige bakgrunn. Denne er bred uten spesiell tyngde i kvantemekanikk.

Like viktig er det å registrere at jeg ikke undersøker hvordan undervisningen er, og jeg vil derfor ikke kunne trekke klare konklusjoner om hvordan man bør undervise dette emnet i faget. Jeg vil imidlertid i drøftingen av resultatene av min egen undersøkelse og andre undersøkelser, komme innom dette aspektet i noen grad.

I mye av forskningen som har vært gjort for å beskrive elevers forståelse av sentrale begreper, størrelser, modeller og lover i fysikkfaget, har et kjernespørsmål vært å si noe om hvordan denne kunnskapen er organisert hos den enkelte. Det har derfor oppstått en flora av terminologi som presiserer det noe upresise begrepet elevers forestillinger. Jeg vil drøfte dette noe nærmere i teorikapitlet. Disse ulike termene, alternative forestillinger, misconceptions, intuitive idéer for å nevne noen få, sier noe om bl. a. hvordan kunnskapen er organisert. Dette

nevnes her for å poengtere at jeg ikke har ambisjoner om å avgjøre hvorvidt elevenes forestillinger innenfor emnet er en del av en større helhet, eller om de er løsrevne idéer uten en slik overordnet struktur. I denne oppgaven vil jeg derfor holde meg til den generelle termen elevers forestillinger

1.4 TIMSS

Jeg bruker i min undersøkelse fire oppgaver som også ble brukt i TIMSS-undersøkelsen. Jeg bruker også noen av resultatene fra denne undersøkelsen i drøftingen av mine egne resultater. Elevene som deltok i TIMSS, fulgte den gamle fagplanen i fysikk, mens de elevene som jeg har undersøkt, hadde fått undervisning etter den nye. Det kan derfor være interessant å sammenlikne disse to gruppene for å se på effekten av endringene i læreplanen. Jeg vil i det følgende gi en enkel beskrivelse av TIMSS-prosjektet.

1.4.1 Generelt om TIMSS

TIMSS er en forkortelse for The Third International Mathematics and Science Study. Denne undersøkelsen var i regi av International Association for the Evaluation of Educational Achievement (IEA) og var som tittelen antyder, den tredje undersøkelsen av matematikk- og naturfaget i skolen. Det er imidlertid mer riktig å si at dette var den første store internasjonale matematikk- og naturfagsundersøkelse. I den første store matematikkundersøkelsen i IEA sin regi, FIMS (First International Mathematics Study) ble matematikk brukt som et slags indikatorfag for å si noe om elevers læring generelt (Robitaille m. fl. 1996). TIMSS har et noe annerledes mål. Her var matematikkfaget og naturfagene i seg selv gjenstand for undersøkelse. Det er ellers verdt å merke seg at IEA fra å være en liten organisasjon med hovedsakelig vestlig dominans, har utviklet seg til å bli en stor organisasjon med mer enn 50 medlemsland.

I TIMSS-undersøkelsen var det 45 deltagende nasjoner, og mer enn 1 million elever fra ca. 15000 klasser har deltatt på testen (Lie m. fl. 1997). Hovedvekten lå fortsatt på land fra den vestlige verden, men flere øst-europeiske og asiatiske land var med. Det er derfor grunn til å forvente at denne undersøkelsen i mange år framover kan gi verdifulle data til forskning innen mange felt i flere år framover, ikke bare innen matematikk- og naturfagdidaktikk.

Det sentrale i TIMSS var de internasjonalt komparative analysene. Ved å samle data inn fra mange ulike nasjoner, fikk man tilgang til data som representerer ulike utdanningssystemer og kulturer. Dette ga en stor variasjon i grunnleggende variabler som klassestørrelse, læreres bakgrunn, ulik grad av differensiering, ulikt ressursgrunnlag etc. Et godt eksempel på et slik funn: I FIMS så man blant annet nærmere på hvordan de flinkeste elevene presterte. Resultatet var noe overraskende for mange. De flinkeste presterte like godt i matematikk uavhengig av om de deltok i en klasse for de flinkeste (streamet klasse) eller om de deltok i en klasse som representerte helheten i elevmassen. Et noe beslektet resultat var at det var en sammenheng mellom hvor godt elevene presterte på testen og andel av årskullet som fullførte en videregående utdanning. Elevene presterte relativt bedre i land hvor en stor andel av kullet fullførte skolegangen. Dette styrket argumenter for en enhetsskole og det svekket argumentene til de som hadde tro på at en utvalgsskole var best for de flinkeste (Robitaille m fl. 1996).

Elevene som deltok i TIMSS ble delt inn i tre populasjoner. Populasjon 1 besto av de to klassetrinn med flest 9-åringer, populasjon 2 av de to trinn med flest 13-åringer og populasjon 3 besto av elever like før de avslutter sin videregående utdanning.

Populasjon 3 ble delt i to grupper. Den gruppen som kalles generalister, representerte den totale elevmassen på nivået uavhengig av spesialisering. Variasjonen i formell realfaglig kompetanse var derfor stor innenfor gruppen. Oppgavene som disse elevene svarte på, var derfor knyttet til generell forståelse innen «science», som vi fritt oversetter til naturfag. Oppgavene var også for en stor del knyttet til en dagligdags, konkret kontekst. Den andre gruppen innen populasjon 3 var spesialistene, altså elever med spesiell kompetanse innen realfagene. To ulike spesialister ble definert, fysikkspesialister og matematikkspesialister.

1.4.2 Testen for fysikkspesialister

Min oppgaven tar utgangspunkt i fysikk-spesialistenes svar. Her var bare 16 land med, alle måsies å være vestlige land. Likevel er det grunn til å tro at flere ulike undervisningstradisjoner ble representert, både når det gjaldt skolens organisering som sådan, og fysikkfaget generelt (Lie m. fl. 1998).

Testen for fysikkspesialistene besto av tre ulike hefter med 27 - 29 oppgaver i hver. Heftene ble titulert hefte 2A, 2B og 2C. Ti av oppgavene gikk igjen i alle tre heftene (oppgave E1-E10). Elevene hadde 90 minutter til å besvare testen. Ved hjelp av slike roterte oppgavesett fikk man tilgang til svar på 67 oppgaver. Det betyr at man fikk dekt et bredere felt, både for det faglige innholdet og når det gjelder ulike vanskegrader og kontekster.

I tidligere studier av tilsvarende format som TIMSS (f. eks. SISS), har oppgavene stort sett vært flervalgsoppgaver. TIMSS-testen besto også for en stor del av slike flervalgsoppgaver, men hadde i tillegg en del oppgaver som var mer åpne i formen. Den norske TIMSS-gruppen var sentral i utviklingen av kodesystem for de åpne oppgavene. Carl Angell har presentert historikken bak denne utviklingen i sin doktoravhandling (Angell 1996). Jeg vil presisere at jeg ikke på noen slags måte har vært deltagende i utformingen av oppgavene og kodesystemet for de TIMSS-oppgavene som jeg benytter i min egen undersøkelse.

1.4.3 TIMSS i Norge

I Norge ledes TIMSS-prosjektet av Svein Lie ved Institutt for lærerutdanning og Skoleutvikling (ILS) ved Universitetet i Oslo (UiO). Denne prosjektgruppen har utgitt mange presentasjoner av resultater knyttet til alle populasjonene. Det er utgitt flere hefter i en egen rapport-serie og det er utgitt fire bøker i en serie. Hver av disse fokuserer på ulike populasjoner og/eller fag. Arbeidet med TIMSS har dessuten vært utgangspunkt for flere hovedfags- og doktorgradsoppgaver ved UiO. Det kan derfor sies at den norske deltagelsen i dette prosjektet har vært meget fruktbart. Det har gitt oss verdifull informasjon om realfagene i vår egen skole i et internasjonalt komparativt perspektiv, det har bidratt til en kompetanseheving innenfor vårt fagdidaktiske miljø og det har ført til en voksende interesse for realfagene i skolen gjennom mye oppmerksomhet i media (både på godt og vondt).

Norge har nå gjennomført undersøkelsene for alle populasjoner. Populasjon 1 og 2 og generalistene og fysikkspesialistene fra populasjon 3 ble testet i løpet av våren 1995. Matematikkspesialistene ble ikke testet før 1998. Denne gruppen var definert slik at de norske spesialistene var elever med 3MX/MY.

Det arbeidet som er utført, har foreløpig blitt dokumentert i flere hovedfagsoppgaver, doktorgradavhandlinger og mange delrapporter. Det er dessuten utgitt en skriftserie med fire bøker som tilsammen gir en fin oversikt over arbeidet. Resultatene for populasjon 2 er godt dokumentert gjennom boka «Hva i all verden skjer i realfagene?» (Lie m. fl. 1997). Dessuten er det laget en oppgavesamling for naturfagoppgavene i populasjon 1 og 2 som er utgitt under

tittelen «Hva i all verden kan elevene i naturfag?» (Kjærnsli m. fl. 1999). Boken «Hva i all verden kan elevene i matematikk» (Brekke m. fl. 1999) drøfter matematikktestene for populasjon 1 og 2. Alle testene for populasjon 3 er beskrevet i den foreløpig siste boken i denne skriftserien «Hva i all verden skjer i realfagene i videregående skole?» (Angell m. fl. 1999).

2 Teori

Jeg ønsker i dette kapitlet å beskrive teorigrunnlaget for denne oppgaven. Dette er en oppgave i fysikkdidaktikk, og det blir derfor innledningsvis lagt litt vekt på å beskrive hva man legger i dette begrepet (kap. 2.1). På denne måten søker jeg å plassere mitt arbeid i en større sammenheng. Dette blir fulgt av en beskrivelse av kvantefysikkens plass og status i den norske skolen (kap. 2.2). Denne delen er min behandling av punkt f) og g) i min problemstilling (jfr. kap 1.2.1). Til slutt presenterer jeg en oversikt over annen forskning som er spesielt knyttet til kvantefysikk i skolen.

2.1 Fagdidaktikk, realfagdidaktikk og fysikkdidaktikk.

Fagdidaktikk har etter hvert vokst fram som egne fag på alle norske universiteter. Dette er først og fremst en konsekvens av at universitetene tilbyr årsenheten Praktisk, pedagogisk utdanning (PPU) for de studenter som ønsker seg en jobb i skoleverket. Det er vel også en slik kontekst som utgjør en kjerne i begrepet fagdidaktikk, refleksjoner rundt de respektive skolefagene. Fysikkdidaktikk kan derfor i første omgangs sies å være refleksjoner knyttet til fysikkfaget i skolen.

Refleksjoner er noe upresist. En presisering vil være at vi snakker om refleksjoner eller vurderinger knyttet til begrunnelser, utvalg, strukturering og tilrettelegging av undervisningen i faget. I forbindelse med slike vurderinger har fagdidaktikeren behov for å trekke inn kunnskap fra ulike akademiske disipliner. Foruten det konkrete faget, f. eks. fysikk, må han/hun ha kjennskap til pedagogikk, et fag som i seg selv er tverrfaglig. Denne tverrfagligheten spenner fra generell kunnskap om bl. a. kognitive prosesser (læringspsykologi), sosialiseringsteori og skolehistorikk. For å kunne vurdere faget i et større perspektiv må fagdidaktikeren også trekke inn akademiske disipliner som vitenskapssosiologi, vitenskapshistorie og vitenskapsfilosofi (Sjøberg 1998). Han/hun må også i sitt arbeid med disse problemstillingene ha et sunt forhold til de metoder som brukes. Dette vil innebære at vedkommende må ha kompetanse innen det mangfold av kvalitative og kvantitative metoder som finnes.

I all denne tverrfagligheten finner vi fagdidaktikkens styrke og dens mulige svakheter. Styrken er at man tar utgangspunkt i problemstillingene og inviterer deltagere fra alle leirene til å bidra med å utvikle løse refleksjoner til fundamenterte analyser. Faren er imidlertid at dette kan bli et sammensurium av kvasihistoriske metoder, kvasipsykologiske teorier, kvasifilosofiske resonnementer etc.

Realfagdidaktikken som en egen akademisk disiplin, har utviklet seg mye de siste 20-30 årene. Fra å være et fag som man kunne kalle for undervisningsmetoder i realfagene, til å bli et fag med en egen identitet, dvs egne professorater i de akademiske institusjonene, egne organisasjoner som står bak tidsskrift og konferanser hvor man kan presentere og debattere resultater fra forskningen på området. Fagdidaktikk har på denne måten blitt mer enn summen av alle de disiplinene som nevnes ovenfor.

I realfagdidaktisk forskning har man i de siste 20 årene vært spesielt opptatt av hvordan elever konstruerer sine egne mentale representasjoner av de størrelser, begreper, lover og teorier som er gjenstand for undervisning i disse skolefagene. Undersøkelser knyttet til fysikkfaglige begreper som kraft, energi, termofysikk og elektrisitet har dominert denne forskningen (Duit

m. fl. 1994), som vi kan kalle alternative-forestillinger-forskning. Denne forskningen har vært forankret i et konstruktivistisk syn på læring.

Denne oppgaven er knyttet til en slik alternativ-forestilling-tradisjon. I de vurderingene som blir gjort, er det nødvendig å trekke inn kunnskap fra noen av de ulike disiplinene nevnt ovenfor. Faren som nevnes, er derfor i høyeste grad gjeldende også for denne oppgaven. Jeg vil enkelte steder trekke inn bl. a. historikk, vitenskapsteori og filosofiske spørsmål knyttet til vår viten om naturen. Disse delene av avhandlingen vil utvilsomt bli vurdert som overfladiske av en leser med spesialkompetanse innen disse feltene. Problemstillingene krever imidlertid at noen hovedlinjer trekkes fram. Mitt håp er at den informerte leser i sin kritikk skal kunne fortsette der denne oppgaven slutter for å gi sitt bidrag til refleksjoner knyttet til de valgte problemstillingene.

2.1.1 Et konstruktivistisk syn på læring

Konstruktivisme er et syn på læring som vektlegger at den lærende aktivt søker å skape mening i den mengden av sanseinntrykk som uopphørlig strømmer “inn”. Den lærende er derfor en fortolker av sin egen verden, noen vil til og med hevde at den lærende skaper sin egen unike virkelighet. Denne fortolkningen eller skapelsen resulterer i at den lærende konstruerer en mental representasjon av verden eller deler av denne verden. Generelt vil jeg heretter referere til slike mentale representasjoner som **forestillinger**. Vi har allerede nevnt begrepet alternative forestillinger. I dette begrepet ligger at disse forestillingene kan være lite forenlig med de vitenskapelig aksepterte fortolkningene. Et eksempel på en slik forestilling som vi skal komme mye tilbake til, er at atomet består av en kjerne, med elektroner som sirkler rundt denne i faste baner. En slik beskrivelse av atomet inneholder flere aspekter som ikke er forenlig med den kunnskapen man i dag har om atomer.

Konstruktivisme er også betegnelsen på en retning innenfor epistemologi eller erkjennelsesteori, som jeg her enkelt definerer som læren om kunnskapens natur, de metoder vi har for å oppnå kunnskap og de faktorer som begrenser vår viten om naturen. I en epistemologi som kan kalles konstruktivistisk, anser man at også de størrelsene, begrepene, teoriene etc. som man benytter innenfor vitenskapen selv, er konstruksjoner. Man representerer bl. a. deler av verden gjennom modeller, analogier og metaforer. Således er altså en vitenskapelig akseptert modell av atomet også en konstruksjon i seg selv. Aksepterer vi begge disse to synspunktene; at vitenskapen i seg selv består av konstruksjoner, og at elevene ikke har mentale speilbilder av disse, kan vi enkelt si at elevens forestillinger er en konstruksjon av konstruksjoner.

Det eksisterer en rikholdig terminologi på slike forestillinger; ‘alternative paradigmer’, ‘alternative framework’, ‘hverdagsforestillinger’, ‘intuitive idéer’, ‘facets’, ‘phenomenological primitives’, ‘preconceptions’, og ‘misconceptions’, for å nevne noen av de mest brukte ordene. Hver av disse termene fokuserer på ulike sider ved hvordan og hvor forestillingen er dannet, hvordan de er organisert hos eleven og hvilken status disse forestillingene har i en slik struktur. Jeg har ingen ambisjoner om å avgjøre hvorvidt elevenes forestillinger i kvantefysikk kan sies å være best representert ved den ene eller andre termen. Det er imidlertid interessant å reflektere over noen av disse termene for å understreke at vår viten om, og elevens forestillinger av, kvantefysikk skiller seg noe fra andre deler av fysikken.

Termene ‘alternative paradigmer’ og ‘alternative framework’ (Driver m. fl. 1985) betoner at elevenes forestillinger utgjør en helhetlig struktur, eller om man vil, utgjør en slags ‘naiv teori’ om verden. Ved å bruke en slik terminologi poengterer man også et slags credo i deler

av det konstruktivistiske realfagdidaktikk-miljøet, nemlig at elevers forestillinger er alternativer som må respekteres. Dette står som en motsetning til termen ‘misconception’ som betoner at elevenes forestillinger er feilaktige. Når man ser på elevers forestillinger i kvantefysikk bør man generelt forvente å finne at elevers tenkning bærer preg av å være fragmentarisk (Fischler m. fl. 1992a, Johnston m. fl. 1998) fordi de har lært så lite om dette, både gjennom skole og hverdagen ellers. Det er derfor usannsynlig at elevene har en slags ‘mini-teori’ som kan sies å være elevens teori om kvantemekanikk.

Termer som ‘facets’ (Minstrell 1992), phenomenological primitives (diSessa 1993) og intuitive idéer (Angell 1996) betoner det motsatte, nemlig at elevers tenkning kan være fragmentarisk eller lite ordnet. Den kan være preget av at elevene bruker ett sett med intuitive regler eller lover i sine resonnementer. Elevens tenkning vil derfor også kunne være kontekstavhengig selv om de naturfaglige idéene som brukes, i undervisningen er framstilt som så generelle at de kan brukes i ulike kontekster (Kupier 1994). For fysikkfaglige emner som kvantefysikken kan man anta at elevene ikke har utviklet noen intuisjon. Det typiske med kvantefysikken er jo at den strider mot vår intuisjon. Imidlertid kan det tenkes at når vi bruker velkjente begreper som ‘partikkel’ eller ‘bølge’, så vil intuisjon kunne koples inn i meningsdanningen. Det er derfor ikke urimelig å anta at når man f. eks. bruker ordet partikkel, så vil dette umiddelbart ha en mening for eleven. Det er dette umiddelbare, fraværet av dypere refleksjon, som kjennetegner intuisjonen.

I den norske og nordiske didaktikken er begrepet ‘hverdagsforestilling’ det mest brukte (Ringnes 1993, Nilssen 1993). Dette ordet antyder noe om tilblivelsen til mange av de forestillinger som elevene har, nemlig det at de for en stor del har rot i hverdagslig observasjon av verden. Man kjenner f. eks. kulden som siver inn i et rom når et vindu åpnes en kald vinterdag. I møtet med kvantefysikken kan vi forvente at elevene ikke har hverdagsforestillinger. Disse begrepene finnes ikke i hverdagen. Mange av fenomenene som utgjør den empiriske basisen i kvantefysikken er også berøvet enhver hverdagslig kontekst (selv om de selvsagt kan benyttes til å forklare hverdagslige fenomener).

Vi ser altså at man skal ha et bevisst forhold til den terminologien man velger å benytte. Drøftingen ovenfor viser at man ikke uten videre kan benytte den terminologien som eksisterer. Jeg velger derfor å bruke termene elevers **forestillinger** eller **alternative forestillinger**. Disse begrepene er generelle og uproblematisk på den måten at de ikke sier noe særlig mer enn at elever har egne forestillinger som de bringer med seg. Ved å bruke ‘alternative’ fokuseres det på at disse ofte ikke er gode representasjoner av de vitenskapelige idéene som de refererer til.

Jeg gir i denne oppgaven ikke en komplett katalog over de alternative forestillingene som elevene har. Jeg gir en beskrivelse av enkelte aspekter slik de har framkommet i min analyse av elevenes svar. Dette siste er en fundamental begrensning i undersøkelser av denne typen. Forestillingene som elevene har, er ikke noe man kan se direkte av elevenes svar. Det er et resultat av analytikerens egne fortolkninger og de valg han/hun gjør i sin analyse. I min analyse finner jeg mange eksempler på at elevenes svar inneholder informasjon som for meg synes å være irrelevant og vanskelig å tolke. Det er mulig at en annen person som hadde analysert de samme svarene, ville ha oppdaget eller etablert andre kategorier og til sist andre betegnelser og beskrivelser av elevenes forestillinger. Dette er en nødvendig erkjennelse i forlengelsen av et konstruktivistisk ståsted. Ved å navngi og beskrive en typisk alternativ forestilling, konstruerer man et bilde eller metafor som er overordnet svarene til hver enkelt elev.

Elevers forestillinger knytter seg ikke bare til det konkrete faginnholdet. De vil også konstruere sin egen forståelse av hva som konstituerer fysikkens egenart, de vil utvikle holdninger til faget, de vil ha meninger om hva som kjennetegner en typisk fysiker, de vil ha meninger om hva som skal til for å lære seg fysikk og også generelt hva læring er etc. Disse forestillingene kan vi si er metaforestillinger knyttet til fysikkfaget. I min undersøkelse har jeg sett litt på elevenes holdninger til kvantefysikk.

Den forskningen som har blitt gjort på elevers forhold til kvantefysikk i de senere årene, kan plasseres i en slik konstruktivistisk tradisjon. Man har viet oppmerksomheten til elevenes egne erfaringer i møtet med kvantefysikken. Denne oppgaven er mitt forsøk på å bidra til en kartlegging av denne erfaringen.

2.1.2 Hva vil det si å forstå fysikk?

I min egen praksis som lærer er jeg opptatt av at elevene skal forstå den fysikken som de lærer. Men hva betyr det egentlig å forstå fysikk? Har man forstått fysikk når man gjør det bra til eksamen? Har man forstått kvantefysikk dersom man kan sette opp Schrödingerlikningen for et hydrogenatom og regne ut energinivåene? Eller for å ta et eksempel som er mer knyttet til det vi kan forvente at våre elever skal være i stand til: Har man forstått noe av kvantefysikken dersom man kan regne ut bølgelengden til et elektron ved hjelp av den

formelen som sier at $\lambda = \frac{h}{p}$?

Duit og Treagust (1995) formulerer hva god fysikkforståelse er når de skriver:

Students are often in full command of science terminology, and for example, might be able to provide the names of animals and plants, to write down the Schroedinger equation without any difficulties, or to provide key examples when presented with formulas. However, there very often is no deep understanding behind the facade of stored factual knowledge. Understanding, as we use the term here, includes an awareness of the basic qualitative ideas in which the facts and formulas are embedded and the ability to employ that knowledge in new situations. In this context, mere retrieval of stored items from memory does not indicate understanding.
(sitert fra Angell (1996) s. 72-73)

Man ser her at det å forstå noe er relativt komplekst. Det er nødvendig med en avklaring av dette begrepet i forhold til begrepet læring. Læring er en prosess. Forståelse er resultatet av denne prosessen. Å undersøke en elevs læring, er en annen problemstilling enn å undersøke elevers forståelse. I undersøkelser av elevers forståelse studerer man kun elevens tenkning rundt begrepet her og nå. Ved en undersøkelse av elevenes læring, kan man f. eks. kartlegge elevens forståelse av de samme begrepene over tid. Læringen kan sies å være endringen i forståelsen fra et tidspunkt til et annet (Niedderer m. fl. 1992). I definisjonen i sitatet ovenfor kan man se at det er noe mer enn forståelse som defineres. Det er snakk om en dyp forståelse som innebærer at eleven kan mer enn å referere faktakunnskaper. Forståelse ses altså på som alle de refleksjoner eleven er i stand til å knytte til det aktuelle begrepet, loven eller teorien. Det er imidlertid ingenting i denne definisjonen som tilsier at elevens forståelse er faglig korrekt. Jeg vil imidlertid tilføye at jeg i denne oppgaven bruker begrepet god fysikkforståelse om en forståelse som er forenlig med en allment akseptert forståelse, eller om man vil, en korrekt forståelse.

Et overordnet begrep som forståelse er et eksempel på det man kaller for constructs (intelligens er et annet eksempel). Felles for slike constructs er at de er veldig komplekse og

sammensatte, noe som medfører at det er vanskelig å enes om én definisjon (se kap. 3.1.1). Det sier seg selv at det da også er vanskelig å lage et instrument som måler f. eks. i hvilken grad våre elever har forstått kvantefysikk. White og Gunstone (1992) kommenterer dette når de skriver:

We could try to define understanding in a sentence, but a simple definition cannot encompass all the facets of so complex a concept. Indeed we feel that simple definitions are partly responsible for the current limited appreciation of understanding in teaching, learning and assessment.

(s. 2 og 3)

Her framheves det at når man på et eller annet slags vis måler elevenes forståelse av et begrep, sier man også noe om hva man mener forståelse innebærer. Uten å utdype det vil jeg bare peke på at dette innvolverer et lite sirkulært problem i definisjonen av forståelse. Lager man en undersøkelse, test eller eksamen hvor man kun ber elevene regne ut fysiske størrelser, så definerer denne testen fysikkforståelse som beherskelse av formler. Dette oppfatter jeg som en svært begrenset definisjon av forståelse.

I forbindelse med gjennomføringen av de nye læreplanene ble det utarbeidet en metodisk veiledning for lærerne som skulle bruke læreplanene. Her ble det poengtert at verbene i målene fulgte en taksanomi, Blooms taksanomi. Jeg nevner dette her fordi denne taksanomien rangerer de kognitive ferdighetene i et hierarki som fra bunn til topp er 1. kunnskap om fakta og prinsipper, 2. forståelse og innsikt, 3. anvendelse, 4. analyse, 5. syntese og 6. kritisk vurdering (Pedagogisk-psykologisk ordbok 1984). Vi ser at forståelse brukes om en lavere ordens kognitiv ferdighet. Dette er ikke forenlig med min (og sannsynligvis de fleste fysikklæreres) eller Duit og Treagust sin oppfattelse av begrepet.

I min oppgave vil jeg fokusere på ett aspekt ved definisjonen av forståelse gitt av Duit og Treagust (1995), nemlig at man kun kan sies å ha forstått et fysikkbegrep dersom man kan gi uttrykk for de kvalitative sidene ved begrepet. Begrepet akselerasjon kan tjene som eksempel. Mange av våre elever kan bruke bevegelseslikningene for fritt fall, men prøv en gang å stille spørsmål som: "Forklar hva vi i fysikken mener med ordet akselerasjon?" White og Gunstone (1992) stilte et tilsvarende spørsmål til 1. års fysikkstudenter med nedslående resultater.

Hva vil det imidlertid si å forstå kvantefysikk? Jeg kan nok med stor selvtilit si at jeg har en god forståelse av Newtons lover, men jeg kan ikke med hånden på hjertet si at jeg har forstått kvantefysikk. Hva innebærer det f. eks å forstå den sammenhengen mellom bevegelsesmengde og bølgelengde som deBroglie framsatte? Målet i den videregående skoles fysikk kan selvsagt ikke være at elevene skal oppnå en dyp forståelse av kvantefysikk. Vi må imidlertid kunne formulere oss noe mer beskjedent og si at elevene til en viss grad skal forstå hva som skiller kvantefysikk fra annen fysikk, herunder at de skal kunne gjøre rede for noen av de kvalitative aspektene ved denne nye fysikken.

Det er noen slike kvalitative aspekter jeg prøver å undersøke med det instrumentet jeg har utviklet.

2.2 Det iboende formidlingsproblemet.

Innledningsvis i dette kapitlet tar jeg først opp ånden i de retoriske spørsmålene som ble hengende litt i løse luften avslutningsvis i det foregående kapitlet, altså hvorfor sier jeg (og jeg antar mange med meg) at jeg ikke har forstått kvantefysikken fullt og helt? Dette samtidig med at jeg vil påstå at jeg har nådd en erkjennelse av, eller forstått, at kvantefysikken

inneholder et revolusjonerende nytt syn på naturen og vår egen forståelse av naturen! Dette utgjør kjernen i det jeg vil kaller for kvantefysikkens iboende formidlingsproblem. Niels Bohr skal visstnok selv ha sagt en gang at sannhet og klarhet er komplementære størrelser³. Dette formidlingsproblemet er sammensatt og det medfører at kvantefysikken er et spesielt emne som det ikke uten videre kan undervises i. En bevissthet om disse spesielle vanskelighetene må derfor inkluderes i en didaktisk refleksjon over undervisningen av kvantefysikken.

Kvantefysikken skiller seg fra de klassiske fysikkdisiplinene i mange henseende. Vår beskrivelse av makroverdenen, newtonsk mekanikk, klassisk elektromagnetisme og termofysikk, bruker størrelser som kan innta et kontinuum av i prinsippet bestemmelige verdier. Man kan også lett få et syn hvor det er et så godt samsvar mellom våre modeller og virkeligheten at disse to nesten kan oppfattes å være speilbilder av hverandre.

I møtet med den makroskopiske verden vil også **intuisjon** mer eller mindre bevisst tas i bruk for å skape mening. Denne intuisjonen vil gang på gang bekrefte sin berettigelse, dvs den er levedyktig, i møtet med mange fenomener i en hverdagslig kontekst. Når vi oppfatter noe som intuitivt riktig, så innebærer dette at man ikke savner en grundigere forklaring. Det finnes imidlertid mange undersøkelser som viser at denne intuitive fysikken kan være i konflikt med de klassiske fysikkgrenene, og den kan virke hemmende i læringsprosessen. Omfanget og antallet av slik undersøkelser er så stort at jeg ikke kan referere til en enkelt studie. Bibliografien til Duit og Pfundt (1994) gir en god oversikt. Av norsk forskning vil jeg vise til Carl Angells doktorgradsoppgave (1996) som bl. a. beskriver hvordan elever benytter intuitive idéer i bl. a. sine beskrivelser av sirkelbevegelse.

Det som skiller kvantemekanikken fra resten av fysikken, er at verdenen på det nivået som den beskriver, kvanteverdenen, ikke kan gripes av vår intuisjon. Den newtonske mekanikken er som sagt helle ikke intuitiv, men den omhandler likevel objekter som er innenfor den sensomotoriske verden hvor objektene kan ses, berøres og manipuleres på en kontrollert måte. På denne måten framstår dette som en verden hvor sammenhengen mellom årsak og virkning tilsynelatende kan beskrives entydig. Som en kontrast til beskrivelsen ovenfor av den newtonske mekanikken, kan vi oppsummere at

- størrelsene som brukes i en kvantefysisk beskrivelse av verden typisk er kvantiserte
- enkelte størrelser er slik at de ikke kan måles med stor presisjon samtidig, og utfallet av en enkelt måling er i prinsippet ikke forutsigelig (indeterminisme)
- sammenhengen mellom årsak og virkning er ikke entydig (ikke-kausalitet)
- to hendelser som er adskilt i tid og rom kan være avhengige av hverandre (ikke-lokalitet).

Alt dette er aspekter som gjør at fenomener på kvantenivået bryter med klassisk fysikk, og vår intuisjon. Dette danner en ramme som innebærer at formidlingen av kvantefysikk er vanskelig.

Dernest ønsker jeg å påpeke at kvantefysikken er en relativt ny disiplin hvor sentrale teoretiske aspekter befinner seg i forskningsfronten. Et eksempel på dette er det eksperimentelle arbeidet som gjøres innen elementærpartikkelfysikken. Avstanden mellom forskningsfront og skole er stor, og dette vil i seg selv kunne medføre et formidlingsproblem. Noen lærere oppfatter iallefall denne avstanden som problematisk (Lie og Sletbak 1987) (se også kap. 2.3.5).

³ Jeg er ikke i stand til å gi en konkret referanse her, men det ble sagt på et symposium med tittelen «Niels Bohr - Bro mellom to kulturer» som nylig ble arrangert ved Universitetet i Oslo.

Det er dessuten en sterkt matematisert teori. Denne matematikken er i seg selv vanskelig tilgjengelig og medfører at den som vil komme kvantefysikken skikkelig innpå livet, bør studere matematikk utover grunnfagsnivå. Dette vil medføre et problem når man skal formidle kvantefysikk på et lavere nivå. I formidlingen av de matematiske modellene må man utvikle mer visuelle, fysiske modeller og uttrykke disse idéene i et mer forståelig språk. Dette vil implisere at man tvinges til å bruke begreper fra det klassiske domenet som f. eks. 'bølge' eller 'partikkel'. Dette vil innebære at formidlingen av det genuint kvantemekaniske, det som skiller kvantefysikk fra annen fysikk, er vanskelig.

Formidlingsproblemet oppstår også av det faktum at kvanteverdenen har en annen ontologisk⁴ status selv for den mest naive realist som måtte finnes. Bohr uttrykte selv at:

There is no quantum world. There is only an abstract physical description. It is wrong to think that the task of physics is to find how nature is. Physics concerns what we can say about nature.

(Sitert fra Combourieu og Rauch 1992, s. 1432)

Med dette vil nok ikke Bohr benekte at de objektene man studerer i kvantemekanikken eksisterer, men han sier bare at vi ikke kan si noe om den underliggende realiteten (Bettany 1998). Kvantefysikken blir på denne måten knyttet til epistemologi, altså studiene av kunnskapens natur. Dette innebærer at i tolkningen av kvantefysikken blir filosofiske eller metafysiske betraktninger sentrale.

Faren når man formidler kvantefysikk er at man lar slike aspekter være uuttalt (og kanskje utenkt) og dermed oppnår man ikke å være bevisst hva slags syn man selv formidler. Man kan dermed ubevisst formidle et syn på naturen som kan betegnes som *naiv realisme*, hvor vår kunnskap om verden formidles å være absolutte sannheter som er mer eller mindre fullstendig. Alternativt kan man risikere å havne i grøfta på motsatt side, og formidle et *radikalt konstruktivistisk* syn hvor vår kunnskap om verden ses på som subjektiv, ufullstendig, midlertidig og usikker (Osborne 1996).

Det kan i denne sammenhengen også nevnes at det finnes andre tolkninger enn den konvensjonelle basert på Bohrs komplementaritetsprinsipp, hvor EWG (Everett, Wheeler og Graham) metateoremet er en av de mest ytterliggående: Man kan gi en tolkning av kvantemekanikken ut fra den matematiske formalismen i seg selv. Som konsekvens har dette blant annet at man må akseptere eksistensen av mange universer som stadig splittes i nye universer, en konsekvens som ikke i seg selv er mulig å falsifisere i et eksperiment (DeWitt 1970). Man kan derfor si at i en poppersk forståelse av hva som skiller vitenskap fra sitt motstykke, er disse teoriene uvitenskapelige (Chalmers 1994). Disse tolkningene er imidlertid bærere av en mystisisme og tilhørende metaforer som muligens kan være interessant å utnytte i en undervisningssammenheng. En annen tolkning er Bohms alternativ. Han ønsker å beskrive den underliggende realiteten i seg selv, og formulerer en tolkning av kvantemekanikk som blant annet innebærer at partikler følger bestemte baner (Bettany 1998). Vi finner dessuten fortsatt en debatt om hvorvidt vi kan oppfatte kvantemekanikken som en komplett teori om verden på dette nivået (Ford og Mantica 1992, Penrose 1990). Den orienterte leser vil umiddelbart kjenne igjen denne debatten fra midten av tredvetallet hvor Einstein, Podolsky og Rosen argumenterte for at teorien ikke var komplett fordi:

...every element of the physical reality must have a counterpart in the physical theory.

(1935, side 777)

⁴ Med ontologi mener vi læren om det værende, altså naturen eller tingene i seg selv.

Dette medfører at en del av formidlingsproblemet berører hvorvidt vi skal legge vekt på ulike tolkninger i de innledende fysikkurs. Dette vil gi et ønskelig budskap om at fysikken er åpen og stadig under utvikling. Jeg var selv nettopp tilstede ved et symposium som ble arrangert ved Universitetet i Oslo til ære for Niels Bohr. I første sekvens av dette symposiumet diskuterte man grunnlagsproblemer i kvantefysikken på en måte som brøt alle stereotypiske forestillinger om den rasjonelle og følelseskalde fysiker. Det ble selvsagt debattert i sømmelige former, men med følelser, temperament og engasjement!

Noen av de alternative tolkningene kan også som sagt være med på å framstille fysikken som noe mystisk og gåtefullt, noe som enkelte tiltrekkes av. Samtidig eksisterer faren for at elevene vil bli stående igjen forvirrede og desillusjonerte. Mange setter nok pris på fysikken fordi den tilsynelatende gir oss sikker viten av hvordan verden er.

2.3 Kvantefysikk i skolen

I et skolefag vil det med tiden utvikle seg en tradisjon, eller om man vil en spesiell fagkultur. I fysikkfaget har vi også en slik tradisjon som eksisterer om ikke uavhengig av, så iallefall ved siden av, de formelle direktivene for faget i form av læreplaner og andre forskrifter.

I denne sammenhengen er jeg opptatt av at denne tradisjonen sammen med andre faktorer, vil være med på å definere en slags «status» for de ulike delene i et fag. Denne statusen er for det første et resultat av en prosess med utgangspunkt i læreplanen. De ulike delene i faget blir definert og målbært av denne planen. Dette reflekterer de ulike læreverkene i faget (i større eller mindre grad). Læreboka vil på sin side ha stor innflytelse på undervisningen, altså det som til slutt skjer i klasserommet. Men dette alene er ikke nok i en slik statusbeskrivelse. Et eksempel som illustrerer dette godt er statusen som naturfagdelen i det gamle o-faget i grunnskolen hadde. Et offentlig nedsatt utvalg med Svein Sjøberg som leder analyserte naturfagets status i det integrerte o-faget. I sin rapport «Naturfagutredningen» (KUF 1994) påpekte de at til tross for at planen forutsatte en deling hvor naturfaget skulle ha 50%, besto lærebøkene kun av 25% naturfag (hvorav 5% var til kjemi og fysikk og resten biologi). I klasserommet var det imidlertid kun 10% av o-faget som ble brukt til naturfagdelene, med overveiende vekt på beskrivende biologi.

Når jeg nevner dette, er det ikke for å foreta en tilsvarende elendighetsbeskrivelse av fysikkfaget. Hensikten er å vise at det er andre faktorer enn læreplanen som styrer et fag. Alle disse andre faktorene er det jeg har kalt for fagets tradisjon. Noen viktige elementer i en slik tradisjon er:

- eksamen i faget.
- lærernes faglige bakgrunn og holdninger generelt til faget og til de ulike fagemnene.
- utvalget av elever som velger faget, deres holdning til skole generelt og de ulike faglige emnene spesielt.

Jeg ønsker i dette kapitlet og utdype de to første faktorene noe nærmere.

2.3.1 Begrunnelser og mål, del I.

Med Reform 94 (R94) fikk vi målformulerte læreplaner. Planen som eksisterte før dette var en plan som inneholdt emnelister over hva som var pensum i fysikkfaget. Disse var til tider mer detaljert innholdsmessig. Ved å målformulere læreplaner er intensjonen at man skal få en retningsgivende plan på den måten at målene i planen skal være utgangspunktet for en

evaluering i faget. I følge den generelle læreplanen (L93) er **mål** noe som man arbeider mot og som man kan vite om man nærmer seg eller ikke. I denne sammenhengen slår vi bare fast at de målene som den formelle læreplanen formulerer, eller de emnelistene som spesifiseres, er et uttrykk for **hva** eleven skal lære, altså innholdet i faget. I det man definerer et slik innhold vil man implisitt, og derfor ofte ubevisst, også si noe om **hvorfor** man skal lære om de spesifiserte emnene. Vi snakker da om **begrunnelser** i faget. Dette kan man ikke alltid lese direkte av målene, men i innledende deler til læreplaner finner man ofte mer generelle formuleringer som gir begrunnelser for faget generelt. Den generelle læreplanen gir begrunnelser for skolen som helhet. Man kan dessuten finne begrunnelser i eksamensordningen (oppgavetyper, sensorveiledninger, føringer fra eksamenssekretariatet til de som skal lage oppgaver og vurderingsforskriften). Man ser derfor gjerne på dette som en del av 'den skjulte læreplan' (Engelsen 1990). Slike begrunnelser vil også inneholde et syn på hva som er skolens funksjon generelt og faget spesielt. Sjøberg (1998) viser ofte til fire argumenter som benyttes i vekslende grad. Jeg har satt et konstruert eksempel som viser hvordan hvert argument kan brukes for å legitimere kvantefysikken i skolen

1. Det økonomiske argumentet: Dagens høyteknologiske samfunn er dominert av kunnskapsindustri. I en sterk internasjonal konkurranse vil man hevde seg dersom man har en befolkning som har innsikt i naturvitenskapene.
 - *Utvikling av nye materialer/kjemikaler krever en god innsikt i en kvantemekanisk beskrivelse av atomer og bindinger i molekyler.*
2. Det utilitaristiske argumentet (nytteargumentet): Innsikt i naturvitenskapen vil bidra til å mestre og forstå den verden som vi lever i.
 - *Vi lever i en verden som er preget av teknologi som kun kan forstås ved innsikt i kvantefysikk, eksempelvis fotoceller som finnes nær sagt over alt.*
3. Det demokratiske argumentet: Vi lever i en verden hvor viktige politiske/etiske spørsmål har et naturfaglig tilsnitt. Dersom man ønsker å ha et samfunn med autonome individer må man ha en befolkning som har innsikt i naturvitenskapene.
 - *Dersom man skal kunne skille snørr fra bart i diverse retninger innen alternativ medisin må man ha innsikt i kvantefysikk, eksempelvis homeopati som fortynner de aktive stoffene i medisinene sine så mye at resultatet er en væske som tilsvarer rent vann. Dette forsvares ved at de gjenværende vannmolekylene husker sine tidligere nabomolekyler, et prinsipp som skal være utledet fra kvantemekanikk.*
4. Det kulturelle argumentet: Den vestlige sivilisasjon slik den har utviklet seg i de siste århundrene er sterkt preget av framskritt i naturvitenskapene. De har ikke bare påvirket en teknologisk utvikling, men også vår tenkemåte og identitet som er preget av modernitet, rasjonalitet og opplysning.
 - *Kvantemekanikken er kanskje den teori som har hatt størst innvirkning på den måten vi betrakter verden på. Den har påvirket alle andre vitenskaper, deriblant filosofien.*

Alle disse argumentene har svakheter som jeg ikke ønsker å drøfte nærmere her. Vi kommer tilbake til disse i kapittel 5.2 når det er på tide å skaffe seg et overblikk og konkludere.

2.3.2 Kvantefysikk i undervisningsplaner, fagplaner og læreplaner

Dette kapitlet er en liten analyse av innholdet i de læreplanene i fysikk som jeg har klart å skaffe til veie. Dette arbeidet har vært møysommelig og vanskelig fordi det ikke eksisterer en sentral samling av læreplaner som er komplett.

Emne	1959/1964	1969/1976B	1976A	1982	1990	1996
Enkle fenomener nevnes	X					
Upresis formulering		X	X	X		X
Fotoelektrisk effekt		X		X	X	X
Røntgenstråling		X		X	X	X
Bohrs atommodell		X	X	X	X	X
Elektronskymodell					X	
Bølge-partikkel-dualisme				X ²		X ²
Materiebølger		X		X	X	
Sannsynlighetsfortolkning					X	
Usikkerhetsrelasjonene					X	
Pauli-prinsippet og kvantetall				X		
Halvledere						
Elementærpartikler				X	X	X

Tabell 2.1: Oppsummering av innholdet av kvantefysikk i læreplaner fra 1959 og fram til i dag.¹) Læreplan ikke tilgjengelig. Basert på læreboka til isaachsen (1969) ²) Kun for lys.

I forbindelse med endringer av planer i denne perioden, endret også skolens struktur seg voldsomt. Dette er et tema som ikke blir drøftet her, men man skal huske at bak disse endringene, ser vi en dreining i begrunnelsene for skole generelt og videregående opplæring spesielt. Dermed kan det tenkes at ved en strukturendring som ikke medfører noen planendring, f. eks. når vi fikk ny skolelov i 1964, at faget likevel endrer seg.

Perioden 1959 - 1969: Den første planen som ga en innholdsbeskrivelse i fysikkfagene i gymnaset og realskolen, synes å være «Undervisningsplaner for den høgre almen skolen etter lov av 10. mai 1935» som kom i 1959 (UP 1959). Denne ble etterfulgt av «Undervisningsplaner for realskolen og gymnaset etter lov av 12. juni 1964» (UP 1964). Når disse nevnes i samme avsnitt, skyldes dette at emnelistene i fysikk for gymnaset er de samme. Disse planene er stikkordsmessige, og presisjonsnivået er varierende. Følgende stikkord nevnes som kan sies å være relatert til kvantefysikk: Lysemisjon, lysabsorpsjon, fluorescens, fosforescens, solspekteret og fraunhoferske linjer, litt om årsaken til lyset, katodestråler, røntgenstråler, fotocelle, radioaktivitet, litt nærmere utgreiing om lysstrålingen.

Allerede i 1964 ser vi imidlertid konturene av en ny plan i faget. Norsk Lektorlag hadde tidlig på 60-tallet nedsatt utvalg som skulle foreslå endringer i planene for de ulike fagene. Gruppen som så på fysikkfaget skriver:

Fysikkundervisningen i gymnaset ligger i dag for langt etter forskningsfronten. Svært lite av utviklingen innenfor fysikken i det 20. århundre har fått plass i det nåværende pensum, både når det gjelder idéer og resultater...I forhold til det nåværende pensum er det vesentlig den moderne fysikk som særlig må styrkes. Dette er nødvendig på grunn av den allmenne og aktuelle interesse som den moderne fysikks resultater har, og ikke minst fordi disse forskningsresultater innebærer en omveltning i vårt syn på den fysikalske verden.
(Norsk Lektorlags gymnasutvalg 1964)

De foreslår også en detaljert plan som inneholder mye av det som etterhvert ble standardpensum i våre fysikkurs (fotoelektrisk effekt, bølge-partikkel-dualisme, usikkerhetsrelasjonene, Bohr-modell, radioaktivitet). Det som også er interessant, er at de foreslo at man bør behandle kvantefysikk i forhold til praktisk elektronikk (transistorer, halvledere og termoelektristet). Dette er i det hele tatt et visjonært dokument for din tid, og er anbefalt lesning for den som er interessert i fysikkfaget. De har bl. a. et syn på at for å forstå sin samtid må enhver allmendannet person ha innblikk i dette århundrets store nyvinninger i fysikkfaget. De foreslår derfor et populærvitenskapelig basert obligatorisk kurs også for de humanistiske linjer. I dette og andre steder i denne teksten, ser vi at gruppen begrunner faget som et kulturfag (se kap. 2.2.2).

Perioden 1969-1976: I 1969 kom en ny leseplan for fysikk i realgymnaset. Denne planen kan sies å være vendepunktet for den moderne fysikken i skolefysikken. Kvantefysikk, bølgemekanikk, kjernefysikk og relativitetsteori kom eksplisitt inn i pensum. Planen i seg selv har det ikke lyktes meg å skaffe, men jeg har blitt fortalt at denne planen er identisk med planen som kom i 1976 (plan B).

Perioden 1976-1982: Planen som kom i 1976 (KUD 1976) hadde blitt prøvd ut i forsøksgymnaset først (Forsøksrådet for skoleverket 1975). Det nye med denne planen er at den besto av to parallelle planer som lærerne kunne velge mellom. Det var en veldig åpen formulert plan (fagplan A) med åpning for tilvalgsstoff, og en mer detaljert plan (fagplan B) som i følge planen selv, i store trekk var lik den foregående planen. Jeg må ta et lite forbehold til dette siste fordi jeg ikke har sett den planen som var forløperen.

Perioden 1982-1990: Planen som kom i 1982 (RVO 1982) medførte noen endringer fra tidligere planer. Tilvalgsstoffet ble formalisert, og dette skulle tilsvare 4 uker. Planen anga en veiledende tid for hvert av hovedemnene som ble nevnt. Den viktigste faglige endringen er at Bohr-modellen ble lagt til 2FY-kurset. Slik har det vært helt fram til i dag. Begrunnelsen for å gjøre dette er ikke lett å se. Sannsynligvis er tanken at man skulle få noe moderne fysikk også i 2FY. Konsekvensen er at Bohr-modellen ikke blir sett i relasjon til utviklingen av kvantefysikken.

Andre vil kanskje synes at den viktigste endringen bestod i at med denne planen kom elementærpartikkelfysikken inn. Dette er jo en viktig endring av faget, men det er ikke en viktig endring med tanke på undervisningen av kvantefysikken. Elementærpartikkelfysikken har i det hele tatt hatt liten kvantemekanisk tilknytning i lærebøkene siden den ble innført.

En siste endring er at Pauli-prinsippet nevnes i planen, og at bølge-partikkel-dualismen nevnes eksplisitt for lyset i denne planen.

Perioden 1990-1996: Med denne planen kom Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner eksplisitt inn i fysikkfaget (RVO 1989). Dette må sies å utgjøre en stor endring. Med disse relasjonene blir det mulig å gi et kvalitativt innblikk i kvanteverdenen uten å snakke om materiebølger (selv om dette fortsatt er en del av planen). I samme ånd plasserer jeg læreplanens formulering om:

Kvantetilstander (uten innføring av nye kvantetall). Enkelt og kvalitativt om den statistiske tolkning. Skymodellen.
(RVO 1989)

Behandlingen av elementærpartikler legges imidlertid til 2FY. Dermed tas en av de enkleste anvendelsene av Heisenbergs usikkerhetsrelasjon bort fra 3FY pensumet.

Dagens læreplan: Jeg vil her se noe grundigere på dagens læreplan (KUF 1996). Det var viktig for meg å ta utgangspunkt i dagens læreplan i fysikkfaget når jeg utformet oppgavene

som ble brukt i testen. De første endringene man legger merke til er av generell karakter: Det eksisterer ingen emnelister lenger. De har blitt erstattet av målformuleringer med hovedmomenter. Tilvalgsstoffet er borte og timeangivelser av eksperimentelt arbeid er borte. Målet i den nye læreplanen for 3FY som omhandler kvantefysikk, har følgende formulering:

«Mål 6

Elevene skal kjenne til noen fenomener som først fikk sin forklaring etter framveksten av kvantefysikken».

Hovedmomenter

Elevene skal

6a kjenne til eksperimentell bakgrunn for fotoelektrisk effekt og kunne gjøre rede for Einsteins forklaring

6b kunne gjøre beregninger med Einsteins fotoelektriske ligning og kjenne til praktisk bruk av fotoelektrisk effekt

6c kunne gjøre rede for røntgensrørets virkemåte og ha kjennskap til praktisk bruk av røntgenstråling

6d ha kjennskap til bremsestråling og karakteristisk stråling og kunne gjøre beregninger med bølglengder og energi

6e kunne gjøre rede for pardanning og annihilerings

6f kunne gjøre rede for Plancks strålingskurver og kunne gjøre beregninger med Stefan Boltzmanns lov og Wiens forskyvningslov

6g kunne gi eksempler på hvordan kvantefysikken bryter med våre hverdagsforestillinger»

(KUF 1996, s 9, min understreking)

I tillegg må det nevnes at Bohr-modellen og elementærpartikkelfysikken fortsatt er sentralt i 2FY-pensumet.

Vi ser at denne planen beholder, presiserer og dermed forsterker, noen emner som har vært deler av fysikkfaget siden 1969. Jeg tenker her på fotoelektrisk effekt og røntgenstråling i 3FY, samt Bohr-modellen i 2FY.

Det nye er imidlertid at all den andre kvantefysikken formuleres i det generelle 6g. Dette er et av de mest upresise målene i hele læreplanen. Umiddelbart vil noen mene at slike åpne formuleringer er uheldige fordi de ikke sikrer at «pensum» er det samme i alle klasser, på alle skoler, i alle fylker. Hensynet til den nasjonale standard ivaretas ikke av slike åpne formuleringer. Dessuten vil mange uttrykke en bekymring fordi elevene ikke kan vite hva som blir prøvd til eksamen med utgangspunkt i en slik formulering. Andre vil muligens si at slike mål er gode fordi de gir handlingsrom for den profesjonelle og autonome lærer (Engelsen 1990).

Det er interessant å registrere formuleringen som er valgt i mål 6g. Det første som slår meg er at ordet «hverdagsforestillinger» brukes, et ord kjent fra fysikdidaktikken. I fysikdidaktikken er ordet en samlebetegnelse for forestillinger som kan antas å ha en rot i hverdagslivet til elevene. Det er neppe en slik betydning av ordet læreplangruppen hadde tenkt seg. Kvantefysikken har så liten hverdagstilknytning at det er lite sannsynlig å finne hverdagsforestillinger hos elevene i dette emnet (se kap 2.1.1). Det må derfor sies at dette ordvalget er uheldig. Slik ordet brukes av læreplangruppen må det forstås som «den fysikken

eleven allerede har et innblikk i» eller sagt på en annen måte, klassisk fysikk. Det kan vel også tenkes at de forsøker å si noe om at kvantefysikken bryter med vår intuisjon eller sunne fornuft, noe som imidlertid ikke først og fremst er et kjennetegn ved kvantefysikken, men heller et viktig trekk ved fysikken som sådan.

Hovedmoment 6g er i det hele tatt en noe merkelig formulering. Dette er ett av flere hovedmomenter som prøver å spesifisere målet, men etter min mening er det mindre spesifikt enn det målet som det er knyttet til! Mål 6 er i utgangspunktet relativt presist. Det eneste som mangler er i grunn en slags liste over hvilke fenomener elevene skal kjenne til. Alle de andre hovedmomentene bidrar i så måte konstruktivt.

Jeg antar at mål 6g prøver å fange opp noe vesentlig; nemlig at våre elever bør kjenne til hva som er så radikalt nytt med kvantefysikken i forhold til de klassiske fysikkdisiplinene. Dersom dette er hensikten med målet, har de ikke lyktes særlig godt.

Styrken til dette hovedmomentet er etter min mening at det er så åpent. Dette gir rom for ulike lærebøker, og det gir et stort handlingsrom for læreren. I dette ligger det også en fare, nemlig at sentrale deler av kvantefysikken gradvis forsvinner ut av pensum fordi de er vanskelig å teste til eksamen. Vi kommer tilbake til dette i kap. 2.2.5.

Jeg ønsker også å kommentere hovedmoment 6e og 6f. Pardanning og annihilerings (6e) var pensum også i planen forut for denne. Der var imidlertid dette plassert i forbindelse med relativitetsteorien. Hva ønsket læreplangruppen å signalisere med å flytte dette fenomenet over til kvantefysikken? Den eneste rimelige tolkningen er vel at de ønsket en kvantefysisk behandling av slike fenomener, noe som tradisjonelt ikke har blitt gjort. I de nye læreverkene gis det heller ikke en fremstilling med vekt på kvantemekaniske aspekter ved pardanning og annihilerings. I en kvantemekanisk fremstilling ser jeg for meg at bevaring av noen kvantiserte størrelser blir mer sentralt (bevaring av ladning, spinn, leptontall, baryontall osv.). Dessuten burde man få med pardanning i vakuum som kan forstås gjennom Heisenbergs usikkerhetsrelasjon for energi og tid. Dette ville medføre et brudd på den klassiske energibevaringsloven. Isteden fokuseres det tradisjonelt på slike prosesser som eksempler på klassiske støt med bevaring av bevegelsesmengde og energi. Dette er det forsåvidt ingenting i veien med, men dersom dette har vært hensikten, er målet malplassert.

Noe lignende kan sies om mål 6f. Dette omhandler stråling fra sorte legemer, men når man ser at det er snakk om Plancks strålingskurver, Stefan Boltzmanns lov og Wiens forskyvningslov, blir man litt tvilende til om det egentlig er kvantefysikk det hele dreier seg om. Det kan riktignok sies at Plancks strålingskurver er Max Planck sin løsning av et av de store problemene med den klassiske fysikken ved inngangen til 1900-tallet, nemlig at den ikke klarte å forklare energiutstrålingen fra slike legemer uten å havne i det som har blitt kalt for «ultrafiolett-katastrofen». Men hvor mye kvantefysisk er involvert i denne løsningen?

Kvantiseringen av den elektromagnetiske strålingen var selvsagt en viktig historisk hendelse som peker mot en ny fysikk, men jeg tror likevel i en slik sammenheng at hovedbudskapet i målet er å beherske den formalismen som nevnes i samme hovedmoment. Dette har lite å gjøre med vesentlige sider av kvantefysikken.

Jeg kritiserer ikke hovedmomentene i seg selv, men kun plasseringen av dem under det målet som omhandler kvantefysikk. 6e burde vært plassert innunder mål 5 som omhandler spesiell relativitetsteori, og hovedmoment 6f kunne muligens passet bedre i forbindelse med astrofysikken, mål 7. Lærebøkene viser også en tolkning av dette som er mer i tråd med det som foreslås ovenfor.

En siste endring som vil ha konsekvenser for undervisningen i kvantefysikk, er den kraftige reduksjonen i bølgemekanikk. Stående bølger og resonans er ikke lenger pensum. I det hele tatt er denne delen av pensum så redusert at man egentlig kan glemme alle tilnærminger til kvantefysikken via bølgemekanikk.

Hva som til slutt blir stående som fagets «virkelige» mål er et åpent spørsmål. Dette vil til slutt være en konsekvens av først og fremst læreverk og eksamensoppgavene i årene som kommer. Når det gjelder læreverk kommer vi noe innom dette i neste kapittel. Hva som vil skje med eksamensoppgavene er det få som vet. Vi har imidlertid en eksamen som er tilbakelagt, samt at vi har en del andre dokumenter som omhandler eksamen i faget. Jeg ser på mulige konsekvenser av dette i kap. 2.2.5.

2.3.3 Kvantefysikk i dagens læreverk

I dette kapitlet ønsker jeg å gi en kort analyse av læreverkene. Jeg velger kun å se på hvordan læreverkene tolker mål 6g. Dette innebærer at jeg overser andre viktige analyser som kunne/burde vært gjort i forhold til mine problemstillinger.

I forbindelse med lanseringen av de nye læreverkene ble vi fortalt at de tre forfattergruppene hadde snakket sammen og blitt enige om en felles tolkning av læreplanen. Det er derfor noe overraskende å registrere at det er store ulikheter i innholdet i de ulike lærebøkene.

Det er ikke min hensikt å utrope noen vinner eller taper blant læreverkene generelt. Det vil imidlertid herske liten tvil om hvilket læreverk jeg synes gir denne delen av fysikken best dekning (RST) i den tradisjonelle læreboka, men dette betyr ikke at jeg anser dette som det beste læreverket på markedet. Andre læreverk behandler andre emner grundigere. Det må dessuten nevnes at Ergo har et meget grundig kapittel i sin ressursperm til læreren som omhandler kvantefysikken mye dypere.

Tema	RST	Ergo	Univers
Compton-effekten	X	X	X
Elektron-interferens	X	X	X
Sannsynlighetstolkning	X		
Ny drøfting av atommodeller i 3FY	X		(X)
Tunneleffekten	X		
Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner	X	(X)	
Nullpunktbevegelse	X		

Tabell 2.2: De ulike læreverkernes dekning av mål 6g. Parentes rundt krysset innebærer at dekningsgraden er liten.

Vi kan bruke antallet sider som en indikasjon på hvor stor del kvantefysikken utgjør av hele kurset. Alle læreverkene er nokså like i så måte. De har mellom 25 - 30 sider, noe som tilsvarer noe i underkant av 10% av hele boka.

Tabell 2.2 ovenfor viser hvilke emner de ulike læreverkene behandler som en del av mål 6g i planen. Vi ser som nevnt ovenfor, at læreverket RST har en suverent grundig dekning av kvantefysikken. Det vi ellers legger merke til, er at alle læreverkene bruker relativt stor plass på å behandle elektroners bølgeegenskaper og deBroglie-relasjonen. Bølge-partikkel-

dualismen nevnes altså i alle læreverkene, men med noe ulik betoning. Vi ser også at Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner ikke lenger gjennomgås i alle læreverkene. Det er derfor tvilsomt om dette emnet vil bli tatt opp til eksamen.

En grundigere analyse av lærebøkene burde inneholdt en analyse av hvordan lærebøkene bruker den historiske konteksten, hvordan de generelt behandler modellbegrepet, konkret hvordan de behandler fotoelektrisk effekt, bølge-partikkel-dualismen, Bohr-modellen etc. Dessuten kunne man muligens analysert et spørsmål som: Hva er hovedbudskapet om kvantefysikken i disse læreverkene? Her tenker jeg f. eks. på om læreverkene gir et inntrykk av at kvantefysikken handler om en uforståelig og paradoksal verden som vi ikke kan beskrive på noen god måte, eller om de på noe slags vis forsøker å peke på at vi i dag har en god beskrivelse av verden på dette nivået (kvantemekanikken).

Et enkelt eksempel for å vise hvor interessant og omfattende en slik problemstilling er: I Isaachsen «Fysikk for realgymnasets bind 2» (1969) er det et eget kapittel med tittelen «Kvanteteori. Atomteori». I denne boken blir det lagt stor vekt på materiebølgebegrepet. Dette brukes bl. a. for å forklare elektronets kvantiserte energitilstander i Bohr-atomet ved hjelp av en modell hvor elektronet er stående materiebølger i en lukket sirkelbane. Hva slags bilde at kvantefysikken gir dette? I hvilken grad vil eleven konfronteres med sine klassiske idealer gjennom denne framstillingen? Jeg kommer tilbake til en kritikk av dette i kap. 2.3.2. Her kan jeg kort si at en slik framstilling gir et bilde av elektronet som en klassisk bølge, med bl. a. en réell romlig amplitude. Jeg vil understreke at dette kun var ett enkelt eksempel hentet fra ett bestemt læreverk. Den samme framstillingen finner vi også i andre eldre læreverk. Det må presiseres at en slik framstilling ikke gis i noen av dagens læreverk (materiebølgebegrepet benyttes ikke i dagens fysikkurs). Dette var bare ett enkelt eksempel blant mange mulige. Jeg håper dette synliggjør hvorfor jeg ikke valgte å gå inn på en slik analyse som en del av denne oppgaven. Det ville gått utover rammene til en hovedfagsoppgave.

Det er å håpe at noen ønsker å gå grundigere inn i analyser av lærebøker i fysikk i framtidige hovedfags- eller doktorgradsoppgaver.

2.3.4 Kvantefysikk i eksamen med ny plan

Fysikkeksamen våren 1999 (Eksamenssekretariatet 1999c) ble imøtesett med spenning av alle de som på et eller annet slags vis er involvert i fysikkfaget i skolen. Dette skyldes nok at man antar at eksamen er meget styrende for undervisningen i faget. Kanskje kan man si at den tradisjon som eksamen etablerer er den egentlige læreplanen i et fag. Forut for denne eksamenen hadde eksamenssekretariatet gitt ut to eksempelsett som skulle vise hvordan en tenkt eksamen skulle kunne se ut (SUE 1998). Dessuten hadde samme institusjon utgitt en generell veiledning i hvordan man løser oppgaver som prøver helhetlig kompetanse (SUE 1999a) og en mer fagspesifikk veiledning for bl. a. fysikkeksamen (SUE 1999b). Jeg ønsker i dette avsnittet å vurdere i hvilken grad disse dokumentene har et metabudskap, nemlig kvantefysikkens fremtidige plass i vår skole.

Eksempelsettene som ble utviklet og sendt ut til alle skolene, vakte oppsikt og de ble nok diskutert på lærerværelser rundt omkring. En skole prøvde bl.a. å rekruttere til en bred protest mot de nye oppgavetyperne ved å igangsette et kjedebrev. Hvor stort omfang denne aksjonen til sist fikk, kjenner jeg ikke. Mine egne elever fikk tilsendt denne oppfordringen. Vi satte av tid til å se på dette, men elevene kom til den konklusjon at mange sider ved de nye oppgavene var gode. De valgte derfor ikke å sende kjedebrevet videre til nye skoler. Når det gjelder disse settene og deres forhold til kvantefysikken, kan vi kort si at man ikke ser noen eksempler på

oppgaver hvor mål 6g prøves. Det er i ett av settene en tradisjonell oppgave om fotoelektrisk effekt satt i en eksperimentell kontekst. Det er også oppgaver knyttet til svarte legemers utstråling. I det andre settet er det en uvanlig oppgave om røntgenstråling hvor elevene skal uttale seg om praktiske sider ved tolkning av røntgenbilder av tenner.

Ved eksamen i 1999 var det heller ingen oppgaver som berører mål 6g. Det var en oppgave som omhandlet pardannelse. Det ble gitt en figur med et boblekammerbilde som viser at et foton går over til et elektron-positron-par. I forbindelse med dette ble elevene bedt om å nevne noen bevaringslover som gjelder for denne prosessen. Dette kunne vært en oppgave med et visst kvantefysisk tilsnitt, men jeg antar at det er få elever som har fått en innføring i kvantemekaniske aspekter ved slike prosesser (se kap. 2.2.3). Det var også en oppgave som handlet om strålingslover i en eksperimentell kontekst som ikke på noen som helst slags måte var kvantefysisk.

Veiledningsdokumentene som ble nevnt ovenfor, tilkjennegir Eksamenssekretariatets syn på hvordan oppgaver til eksamen skal prøve det som kalles for helhetlig kompetanse. Disse dokumentene sier selvsagt ingenting direkte om kvantefysikken (eller andre deler av fysikkfaget). Det er imidlertid et viktig budskap som spesielt vil berøre denne delen av faget. I sin definisjon av helhetlig kompetanse kan man lese:

Eksamenssekretariatet forstår «helhetlig kompetanse» slik at det omfatter din evne til å bruke det du har lært i forskjellige fag (av kunnskaper og ferdigheter) til å løse oppgaver og problemstillinger i arbeidssituasjoner som også er aktuelle i livet utenfor klasserommet.

(SUE 1998, side 3)

Og de fortsetter (etter å ha definert at denne kompetansen også innebærer sosiale ferdigheter og generell læringskompetanse) med å si at:

Slik kompetanse kan du utvikle gjennom det vi kan kalle «virkelighetsnære» oppgaver eller problemstillinger... Betegnelsen «virkelighetsnære» oppgaver sier en god del om hva slags kompetanse som ønskes utviklet og prøvd i R94, nemlig den som også er brukbar utenfor den opplæringssituasjonen du er i. dette betyr at faglig nytte ikke er den eneste verdien av kompetanse.

(SUE 1998, side 4)

Man skal være forsiktig med å analysere slike styringsdokumenter ved å presentere løsrevne sitater slik jeg gjør ovenfor. Disse sitatene viser imidlertid godt det som er mitt helhetsinntrykk av dette dokumentet: God kunnskap er virkelighetsnær, altså praktisk rettet, rettet mot elevens egen hverdag utenfor skolen eller i et fremtidig yrke. Dette protesterer jeg selvsagt ikke på. Det jeg reagerer på er den ensidige fokuseringen på et slik kunnskapssyn. Det allmenndannende perspektivet er helt fraværende i dette dokumentet. Dette står i sterk kontrast til den generelle læreplanen (KUF 1993), som presenterer et mye mer allsidig og fruktbart kunnskapssyn.

Kvantefysikken har selvsagt store praktiske konsekvenser, og den er viktig for å forstå bl. a. teknologi som vi bruker i vår hverdag. I en slik sammenheng blir problemstillingene ofte komplekse og vanskelige. Dessuten er ikke hovedhensikten med å ha kvantefysikk i skolen å gi elevene en forståelse av sin daglige verden. Enhver god begrunnelse av kvantefysikken vil i stor grad betone det kulturelle og allmenndannende perspektivet (se kap. 2.2.2 og kap. 5).

Eksamen styrer som sagt i stor grad innholdet i skolefagene og formen på undervisningen. Eksamenssekretariatet har dermed stor makt. Dersom dette kunnskapssynet blir enerådende til eksamen, vil jeg anta at de perspektiver som bl. a. kvantefysikken gir i skolen, vil svekkes.

2.3.5 Lærernes syn på faget generelt og kvantefysikken spesielt.

Reform 94 (R94) medførte at de fleste styringsdokumenter for den videregående skolen ble endret. Dette gjelder også læreplanen for fysikkfagene 2FY og 3FY. For flere av studieretningsfagene kom de “nye” fagene i gang først skoleåret 97/98. For fysikkfagets del betyr dette at det nye 2FY-kurset kom i gang skoleåret 97/98, mens det nye 3FY-kurset ble satt i gang skoleåret 98/99. I prosessen fram mot høringsutkast og endelig fagplan fikk man samlet nyttig informasjon om læreres syn på sitt eget fag. I dette kapitlet vil jeg ikke behandle detaljert hele prosessen, men oppsummere den informasjonen som anses som nyttig i forhold til min problemstilling.

Mye av kritikken mot R94 var de korte høringsfristene og den effektive igangsettelsen av de nye læreplanene (se f. eks. Skolefokus fra høsten 94 og utover). Fysikkfaget og noen få andre fag var derfor i en særstilling når det gjaldt tid til høring av læreplanen. Januar 1995 ble det invitert til et møte av FUN, Faggruppe for undervisning i Norsk Fysisk Selskap, for å samle fysikere og fysikklærere i den videregående skolen til en åpen diskusjon om nye læreplaner i fysikk. Det ble på dette møtet besluttet å arrangere et nytt møte senere på vinteren/våren samme år for å ha en idédugnad som kunne gi innspill til læreplangruppa før denne avsluttet sitt arbeid.

Forut for dette møtet ble det foretatt en undersøkelse blant lærere i fysikk (Angell m. fl. 1995). Spørreskjemaet ble sendt ut til alle skoler i landet som hadde tilbud om kurs i fysikk 2FY eller 3FY. Nedenfor følger en kort oppsummering av de resultatene som er interessante i denne sammenhengen:

- Et eller annet må gjøres for å hindre flukten fra faget.
- Vanskegraden og arbeidsmengden i 3FY var for stor.
- Lærerne likte stort sett den eksisterende planen og det faget man hadde.
- Mange lærere ønsket mindre vekt på et historisk-filosofisk perspektiv.
- Likeledes mente mange at man skulle legge mer vekt på dagliglivets fysikk.
- En stor andel lærere mente at basiskunnskaper i klassisk fysikk burde bli styrket i den nye planen. Når lærerne ble spurt om det var nye emner som de ville ha inn, var statikk, rotasjon, vekselstrøm og elektronikk de som ble nevnt av flest lærere.⁵
- Læreres forhold til moderne fysikk viste en større grad av polarisering. For kvantefysikk var det slik at ca. 20% av lærerne ønsket denne delen helt ut av den nye planen eller redusert, mens omtrent samme andel ønsket temaet styrket.
- Det ble ikke påvist noen signifikante forskjeller mellom mannlige og kvinnelige lærere. Det ble likeledes ikke påvist noen signifikante forskjeller mellom ulike aldersgrupper.

Undersøkelsen ble presentert på det følgende møtet. Dette ble etterfulgt av en debatt hvor mange av de samme synspunktene kom fram (Lerkerød 1995). I tillegg kom det klarere fram at det eksisterte et viktig skille knyttet til synet på fagets overordnede mål/visjoner. En gruppering tenderte mot et konservativt syn hvor fysikkfaget ble sett på som et fag som skal gi et grunnlag for videre studier. Et slik fysikkfag skulle vektlegge utviklingen av et presist språk, matematisering og basiskunnskaper. Implisitt i dette synet kan det ligge argumenter av

⁵ En interessant detalj her er at kraftmoment ble tatt med i høringsutkastene til nye planer. I høringen var det ingen som kritiserte dette, snarere tvert om (Ekern 1995). Likevel ble akkurat dette delmålet fjernet i den endelige planen. Dette viser at prosessen bak en ny læreplan ikke er så åpen som man kanskje skulle ønske seg.

typen 1 og 2 ovenfor. Dekkende metaforer for dette synet er “hard fysikk” eller «det innoverskuende fysikkfaget». På den andre fløyen hadde man et syn preget av en visjon om at fysikk burde velges av flere elever fordi fysikk er en viktig del av vår kultur. Et slik fysikkfag skulle vektlegge temaer som dagliglivets fysikk, historikk og verdensbilde. Begrunnelser her kan variere i sin vektlegging av argument 2, 3 og 4 ovenfor. Metaforene som sammenfatter denne fløyen er “myk fysikk”, «det utoverskuende fysikkfaget» og kanskje kan vi også si “det politisk korrekte” synet.

En tilsvarende, men noe grundigere, undersøkelse ble foretatt i 1987 (Lie m. fl. 1987). Også her ser vi at det er først og fremst den moderne fysikken som ønskes redusert i omfang. Over 40 % av de spurte ønsket en reduksjon av pensum i kvantemekanikk, elementærpartikkelfysikk og astrofysikk. I denne undersøkelsen kartla man også i noen grad hvorfor lærerne ønsket disse reduksjonene. Hovedargumentene var manglende faglig bakgrunn hos læreren, og spesielt ble elementærpartikkelfysikken betraktet som å være for nære forskningsfronten i faget. Dessuten ble det påpekt at emnet var for teoretisk, lite kvantitativt og det er dårlig egnet for eksperimentelt arbeid i faget. Det er altså en påfallende likhet mellom disse to undersøkelsene. Vi ser imidlertid at andelen som ønsker dette emnet redusert, har blitt halvert fra 1987 til 1995. Årsakene til dette vil jeg anta skyldes at “stoffet har fått satt seg”, blitt internalisert i fysikklærerens bilde av faget. Dermed vil dette være en sentral del av fysikkfaget også for de som har et innoverskuende syn på fysikkfaget med vekt på basisferdigheter. Det kan vel også tenkes at de nye fysikklærerne som har kommet inn i denne perioden har bedre faglig bakgrunn i emnet.

Jeg er også fysikklærer og plasserer meg i dette landskapet som en ivrig talsmann for et fysikkfag med perspektiver utover faget i seg selv. I mine fem år som lærer har min kjærighet til faget bare vokst. Som en naturlig konsekvens av et slik kjærighetsforhold, ønsker man å nå ut til flere elever; flere jenter, flere potensielle journalister, flere potensielle diktere etc. Med andre ord alle de som vi ikke når i dag. Fysikkens historie, prosesser, begreper, lover og teorier er en viktig del av vår kultur.

2.4 Oversikt over relatert forskning

I dette kapitlet presenteres de viktigste resultatene fra forskningen på elevers forestillinger innen elementær kvantefysikk. Det er foreløpig ingen som har skrevet en artikkel som oppsummerer eller sammenfatter denne dokumentasjonen. Dette er derfor et forsøk på å lage en slik oversikt.

2.4.1 Generelt

Forskning som søker å kartlegge elevers forestillinger av naturvitenskapelige fenomener, begreper, lover og teorier viser generelt et metodisk mangfold. På den ene siden har vi store kvantitative undersøkelser, gjerne internasjonale, som prøver å avdekke generelle karakteristikk ved elevers forestillinger. Dette gjøres typisk ved å bruke et spørreskjema som i stor grad består av flervalgsspørsmål. Forut for en slik undersøkelse har man gjort pilotundersøkelser i mindre skala for å klare å lage gode oppgaver med distraktorer som skal fange opp vanlige forestillinger. Resultater presenteres i form av statistikk som intenderer å gi et mål på hvor god elevers fysikkforståelse er i ulike land, kulturer etc. Dessuten brukes statistikk for hver enkelt oppgave, eller en samling av beslektede oppgaver, for å gi et oversiktsbilde over elevers mentale representasjon av det spesifikke begrepet som undersøkes i disse oppgavene. Et typisk eksempel på forskning av denne typen er TIMSS. En metafor fra

fotografiets verden kan være at det i slike undersøkelser tas et gruppebilde. På denne måten kan man finne spor etter forestillinger som går ut over hvert enkelts tenkning, og på denne måten kan man generalisere til populasjonen som helhet.

På den motsatte ytterlighet har vi case-studier hvor forskeren i mer eller mindre grad er deltagende observatør. Slike case-studier har sin styrke i at man lettere kan gjennomføre en undersøkelse av selve læringsprosessen. Formålet med denne forskningen er å beskrive læringsprosessen, og resultatene presenteres gjerne i form av typiske elevutsagn mer eller mindre bearbeidet. Det er en trend i fagdidaktisk forskning med økende fokus på slike kvalitative studier (Duit m. fl. 1994). Et godt eksempel på en slik studie er Petri og Niedderers (1998) beskrivelse av hvordan en elevs forståelse av atommodeller utvikler seg gjennom en læringssekvens. En metafor som kan benyttes for å beskrive slike studier, er at man prøver å lage et 'stroboskopbilde' av elevens tenkning. Dermed ser man lettere hvordan tenkningen har endret seg, gjerne som et resultat av en undervisningssekvens. Det er slike endringer i tenkning som Niedderer m. fl. (1992) bruker som en operasjonell definisjon av læring. Mer om denne konkrete studien følger i neste avsnitt.

Et fellestrekk ved en del undersøkelser er at man har prøvd ut et spesielt undervisningsopplegg i noen klasser. Man har så utviklet et instrument som skal kartlegge elevers forståelse av temaet før og etter den spesielle undervisningssekvensen. Man gir gjerne den samme testen til en kontrollgruppe som antas å være sammenlignbar med eksperimentgruppen før undervisningen. Kontrollgruppen følger så gjerne det vi kan kalle et tradisjonelt undervisningsopplegg. Fischler og Lichtfeld (1992a), som vi skal komme tilbake til i neste avsnitt, er typiske representanter for en slik eksperimentell design.

2.4.2 Atommodeller

Fischler og Lichtfeld (1992a og b) (heretter omtalt direkte i teksten som F&L) har undersøkt elever med tilsvarende bakgrunn som våre 3FY-elever. De foretar en eksperimentell studie hvor man har en kontrollgruppe som har fått gjennomgått et tradisjonelt undervisningsopplegg i kvantefysikk som kan ligne på vårt (historisk kontekst sterkt fokusert, fotoelektrisk effekt er introduksjonen til emnet, Bohr-modellen, bølge-partikkel-dualisme). Denne undersøkelsen viser at langt de fleste av elevene har en planetarisk modell av atomet både før og etter undervisningen i kvantefysikk. Denne modellen forklares med bruk av begreper fra klassisk mekanikk hvor elektronet beveger seg i en kontinuerlig bane, som et planetsystem i miniatyr. Stabiliteten til et atom skyldes at den tiltrekkende elektriske kraften er i balanse med «sentrifugalkraften»⁶. De avdekker dessuten en gruppe elever som har en fiksert forestilling om at ladninger frastøter hverandre og at dette forklarer hvorfor elektronet og kjernen har en viss avstand. En tredje forestilling er en skallmodell hvor eleven forestiller seg solide skall rundt kjernen som elektronene sitter eller beveger seg på. Den eksperimentelle gruppen endrer sin orientering mot en modell hvor Heisenbergs usikkerhetsrelasjon er sentral. Innestengtheten gir en nedre grense for usikkerheten i posisjon som igjen gir opphavet til en økning i elektronenes kinetiske energi. Denne energien kalles lokaliseringsenergi.

En gruppe med tilhold ved universitetet i Bremen har i en årrekke sett på tyske gymnaselevers forestillinger av atomer (heretter omtalt som Bremen-gruppen). Mye av denne gruppens arbeid er skrevet på tysk. Heldigvis har gruppen publisert noen artikler på engelsk som også oppsummerer arbeidet som er gjort. Dette er både av generell overordnet karakter og mer

⁶ For en diskusjon om elevers forestillinger av sirkelbevegelse viser jeg til Carl Angells doktorgradsavhandling. Dette er et stort tema i seg selv som jeg ikke vil gå nærmere inn på.

spesifikk. Gruppen har utviklet en egen teori og terminologi som gjør det mulig å beskrive enkeltelevers læringsprosesser i en undervisningssekvens såkalte learning pathways (Niedderer m. fl. 1992 og Petri m. fl. 1998). De har også utviklet et eget undervisningsmateriale (Niedderer m. fl. 1990, 1998 og 1999).

I likhet med foregående gruppe har Bremen-gruppen kartlagt elevers forestillinger av atomet før undervisning i kvantefysikk og funnet at den gjennomgående modellen er en mekanistisk planetarisk modell. Gruppen har søkt å gå utover elvenes svar som sådan for å gi en høyere ordens beskrivelse. De har funnet at en slik modell er underbygget av mer elementære kognitive verktøy (gruppens egen terminologi) som “elektronet er en partikkel”, “elektronet kan bevege seg” og “et atom består av en positiv kjerne med negative elektroner omkring det” (Petri m. fl. 1998).

I en case studie følges en elev (Petri m. fl. 1998). Han hadde en utvikling fra en planetarisk mekanistisk modell til en faglig akseptabel forestilling hvor man ikke kunne se på elektronet som en partikkel, men som en utsmurt ladningssky som dekket kjernen. Formen på denne skyen var bestemt av Schrödinger-likningen for systemet, og tolkningen av denne skyen var først probabilistisk. Avslutningsvis var imidlertid målet at man skulle få en modell hvor de ulike orbitalene (elektronskyene) ble sett på som en “elektronvæske”, elektronium. Målet var altså å få eleven til å forlate et partikkelsyn på elektronet i bundet tilstand i atomet. Dette lykkes de delvis med. Imidlertid påviser de at denne eleven har en parallell struktur hvor minst tre ulike atommodeller brukes i ettertid. Av disse bedømmes den planetariske modellen å være sterkest. Betegnelsen sterk forestilling innebærer at denne modellen var den første eleven ville ty til når nye fenomener skulle forklares. Den planetariske modellen er mao. ikke så kontekstavhengig som de andre modellene. De andre modellene hadde imidlertid hos eleven en høyere status i form av å være mer vitenskapelige.

Det må i denne forbindelsen sies at dette materialet ikke er direkte overførbart til bruk i den norske skolen. Det er for omfattende og det baserer seg i en for oss relativt streng formalisme med bruk av bølgemekanikk. Kurset gikk over 80 undervisningstimer (se også kap. 2.4).

For oss som ikke har så lang tid i undervisningen av dette emnet, er utviklingen de første ukene mest interessant. I denne perioden beholdt eleven sitt grunnleggende syn på atomet (planetarisk modell). Heisenbergs usikkerhetsrelasjon ble tolket inn i dette ved at det er en usikkerhet forbundet med å lokalisere denne partikkelen. Men partikkelen eksisterte og den beveget seg rundt kjernen.

Utviklingen til denne eleven kan også beskrives som å gå gradvis gjennom tre tilstander kartlagt av Bethge i den tidlige fasen av Bremen-gruppens arbeid (Niedderer m. fl. 1990):

State 1: (“rookie”) Concepts were not enlarged or changed. The quantum states of the atom are conceived as trajectories; the model of the atom is similar to the planetary model; students hold a “strict particle view” of the electron. Probability is only an expression of inaccuracy.

State 2: (“semi-professional”) The new concepts of wave and probability have been attached to the old concepts of particle orbits and trajectories, e.g. students think of “smeared orbits”...

State 3: (“professional”) The new concepts are used in students own reasoning; some problems and inconsistencies are discussed in a competent and open minded way which is to some degree comparable to the interpretation discussion in physics... (s. 78)

Mashhadi (1995) har kartlagt elever i det britiske A-level med fysikkspesialisering. Han beskriver elevenes forestillinger av atomer ved hjelp av fem kategorier; mekanistisk modell, sannsynlighetsmodell (men med enkelt-elektroner), tilfeldighetsmodell (hvor enkeltelektroner beveget seg tilfeldig innenfor et tillatt område/skall) og 'utsmyrt ladningssky'-modell (i engelsk originaltekst: 'smeared charge cloud', hvor begrepet enkeltelektroner ikke er sentralt for å beskrive atomets egenskaper). Dessuten ble kategorien "atomet er ikke visualiserbart" brukt for å beskrive noen elever. Disse kategoriene er sammenlignbare med Bethges tre tilstander som er nevnt ovenfor.

Forestillingen om at et atom er et planetsystem i miniatyr bekreftes også av andre som ikke drøftes her (Müller m. fl. 1999 og Unal m. fl. 1999).

I norsk skole har Bohr-modellen hatt en sentral plass i pensum. Modellen brukes først og fremst for å gi en forklaring av linjespektra. Denne modellen ble konstruert i denne tidlige fasen av kvantefysikken hvor man søkte å finne svar på noen uløste problemer, bl. a. disse linjene i emisjons- og absorpsjonsspektra. Den er derfor viktig i en historisk sammenheng og den gir en enkel og billedlig konkret forklaring på fenomener. F&L (1992b) kritiserer imidlertid modellens plass i de innledende kvantefysikkursene:

Central to the criticism is the reproach that in being oriented at historical development the teaching clings to much to conceptions of classical physics. The usage of mechanical models which is implied by this, unnecessarily sets up an additional obstacle for the appropriate understanding of quantum physics.
(s. 240)

Og Fischler sier videre at:

Students who have been shown the efficiency of Bohrs atomic model will have little success in surmounting this illustrative model. To resort temporarily to mechanical aids for the sake of illustration would be to conceal the fundamental difference between the students' concepts encouraged by this model and the correct physical description. An electron's orbit is not simply an auxiliary device which is almost correct and can thus function for a while as a comprehensive aid. Every single argument supported by the concept of orbit makes the necessary change in thinking more difficult, delays the due process of discarding mechanical models, and finally renders this process impossible.
(Fischler 1999, s 33)

De argumenterer med at dette sterke angrepet på Bohr-modellen kan rettferdiggjøres utfra all den forskning som viser at elevers forestillinger synes å være stabile over tid og vanskelige å endre.

Denne kritikken av Bohr-modellens plass i skolefysikken er imidlertid ikke ny. Allerede i 1964 uttalte Sir Nevill Mott, daværende Cavendish Professor of Physics ved Cambridge University og leder av Nuffield School Science Project:

...children at school should not be introduced to quantum phenomena through any description of the atom which includes Bohr's orbits.
(s. 401)

The Bohr orbits are now of only historical importance - though their historical importance is great. I doubt whether pupils ought to learn about them until they can get some inkling of what has replaced them.
(s. 408-409)

Han gir imidlertid i denne artikkelen den klassiske redegjørelsen hvor deBroglie bølgelengden forbindes med stående bølger langs en sirkelbane. Ideen er å vise at dette gir som konsekvens at energien er kvantisert. I den samme artikkelen utvikles dette videre ved at han gjennomgår Bohrs utledning av Balmers formel ved å anta at det angulære momentet til elektronet er kvantisert.

Av en eller annen grunn har imidlertid de kritiske innledende bemerkningene blitt oversett når man har utviklet et pensum i kvantefysikk i skolen. At denne modellen med stående bølger langs en sirkelbane er uforenlig med kvantefysikken blir klart når man vurderer en slik modell i lys av Heisenbergs usikkerhetsrelasjon. Dersom bølgelengden er entydig bestemt, medfører dette at elektronets posisjon er helt ubestemt (Garcia-Castañada 1985). I denne modellen sidestilles elektronet med en klassisk bølge. Ved å visualisere atomet som et solsystem i miniatyr sidestiller man elektronet med en klassisk partikkel. Begge deler er uforenlige med kvantefysikken. Vi ser her at det er en sammenheng mellom atommodellenes gyldighet og det som i skolefysikken kalles for bølge-partikkel-dualisme.

2.4.3 Bølge-partikkel dualisme

I Cappelens fremmedordbok (1993) finner vi:

dualisme, dobbelthet; oppfatning som regner med to motsatte og uforenlige prinsipper innen et foreteelsesområde; (filos.) verdensanskuelse som går ut fra to skarpt adskilte prinsipper (f. eks. ånd og materie) til forklaring av tilværelsen; (teol) antakelse av to guddomsvesener, et godt og et ondt.
(s. 90)

Vi ser at den måten begrepet brukes på i fysikken, har en filosofisk bakgrunn. Imidlertid er dualismebegrepet slik det framkommer i fysikken, ytterligere raffinert ved hjelp av Bohrs komplementaritetsprinsipp som sier at i vår beskrivelse av den kvantefysiske naturen, er det ikke nok med en verdensanskuelse som går ut fra to skarpt adskilte prinsipper (les bølge- og partikkelmodell), men disse to skarpt adskilte prinsippene er komplementære til hverandre, dvs de utfyller hverandre.

Begrepet bølge-partikkel-dualisme har siden kvantefysikken først kom inn i skolens fysikkfag, hatt en sentral plass. Formalismen i kvantemekanikken inneholder ikke noe dualismebegrep i seg selv. Problemet eksisterte, og eksisterer fortsatt i dag, når vi skal prøve å beskrive/tolke denne formalismen i vårt hverdagsspråk. Man kan si at det er et metafysisk eller filosofisk problem som berører ontologiske og epistemologiske spørsmål. I en artikkel som søker å oppsummere bølge-partikkel dualismen fra dens spede begynnelse fram til 1992 beskriver Combourieu og Rauch (1992) kjernen i problemet når de skriver:

The idea of a super-reality-i.e., of an intermediate state of matter-which would exhibit at a particle or atomic scale not only a behavior either wavelike or particle-like, exclusively, but simultaneously wave and particle aspects, remains a literal assumption...No experimentalist ever has succeeded in detecting a single particle travelling in one or the other branch of an interferometer...while analyzing simultaneously the interference pattern which it is supposed to appear on a screen located just behind the detectors...What is the nature of this impossibility? Ideological? Technical? Theoretical? Physical, as reflecting the true processes in an external nature, independently of our measurements?
(s. 1403-1404)

Jeg vil ikke behandle dette dualisme problemet som sådan her. Jeg vil imidlertid vise til denne artikkelen som en god kilde uten all den formalismen som ellers er vanlig for artikler som behandler dette problemet. Jeg ønsker i stedet å fokusere på hva vi vet om elevers forhold til denne dualismen, og formidle hva andre sier om bølge-partikkel dualismens rolle i våre fysikkurs

Vi har allerede nevnt at Bremen-gruppen foreslår at en planetarisk modell for atomet støttes av en grunnleggende syn på elektroner som partikler (Petri m. fl. 1998). Det samme har F&L (1992b og 1999) vist ved hjelp av såkalte sine semantiske nettverk. Ved hjelp av disse nettverkene viser de at elevene før undervisning i kvantefysikk har et klassisk partikkelbilde av elektroner som også manifesterer seg i at de følger en fast bane rundt kjernen i atomet. Likeledes beskrives lys ved et klassisk bølgebegrep. I nettverket som beskriver den enkelte eleven som fulgte et såkalt tradisjonelt opplegg hvor bølge-partikkel dualitet var sentralt, kan man se at begrepet oscillasjon knyttes til elektronets sirkelbevegelsen uten at forfatterne presiserer nærmere hva som ligger i en slik oscillasjon. Dessuten orienterer eleven seg mot et klassisk partikkelbilde for lys, hvor fotoner også har masse/treghet. De slår fast at elevene har et naivt bilde av denne dualiteten. Hvorvidt lys viser sin bølge- eller partikkelnatur avhenger av eksperimentet vi gjør. De stiller innledningsvis de retoriske spørsmålene:

Does it really make sense to speak of a dual nature? Wouldn't it be better to abandon wave-particle terminology altogether and instead state that matter and light consist of quantum objects which behave totally differently from classical particles or waves?

(Fischler m. fl. 1992a, s. 183)

Strnad (1981b) slår fast at:

There is no need to introduce matter waves as a basic concept or to discuss the notorious wave-particle-dualism of electrons in the traditional way.
(s. 253)

Mashhadi (1995) har vist at elever har problemer med å tolke hva slags informasjon man får om elektronet ved å utføre et forsøk som viser at man får interferensmønster (teltronrør med grafittgitter). En stor andel holder på et strengt partikkelsyn. Av de som svarer at elektroner utviser bølgeegenskaper er det noe uklart hva de mener med dette. Svært få elever nevner at interferensmønsteret kan tolkes ved hjelp av en sannsynlighetsbølge.

En forutsetning for å innse kvalitative viktige sider ved bølge-partikkel dualiteten må være at elevene har et klart begrep om hva vi i klassisk fysikk mener med begrepene bølge og partikkel. Johnston m. fl. (1998) har gitt en beskrivelse av universitetslever partikkel- og bølgebegrep. De avdekker at elevene har fragmentariske begreper som består av en samling isolerte fakta. Steinberg m. fl. (Steinberg m. fl. 1999 og Redish m. fl. 1999) har sett på elevers forståelse av en bølgemodell for lys og skriver:

Clearly, most students do not develop a reasonable wave model for the behavior of light. For example, about half of the students who had just completed the introductory calculus-based physics course believed that the amplitude of a light wave is spatial (as opposed to electromagnetic). Many students speak of waves "fitting" or "not fitting" through a narrow slit while trying to describe diffraction.
(Steinberg m. fl. 1999, s. 41)

Når de så introduseres til lysets partikkelegenskaper og dualitet, rapporterer denne gruppen at mange elever inkorporerer denne partikkelen i et bølgebegrep der amplituden representerer et

fysisk utslag fra en likevektsstilling. Vi får dermed partikler som beveger seg langs en sinusbølget form.

Nedenfor gjengis noen uttalelser om denne bølge-partikkel dualiteten. De er alle hentet fra artikler hvor fysikere uttaler seg om innføringen av kvantefysikk i skolen/universitetet:

The wave-model describes a type of motion, not a thing and not a fundamental property of matter. Wave motion is no more characteristic of matter than is circular motion or simple harmonic motion or whatever named motion one chooses. The motion is determined by the underlying dynamics, not by the nature of entities moving.

(Hood 1993, s. 290)

I want to emphasize that light comes in this form - particles. It is very important to know that light behaves like particles, especially for those of you who have gone to school, where you were probably told something about light behaving like waves. I'm telling you the way it does behave - like particles.

(Fra R. Feynman (1985): *QED The Strange Theory of Light and Matter* sitert i Hood 1993, s. 290)

One thing is certain: to provide our students with the symmetric concept that the electron is sometimes a wave and sometimes a particle does not introduce any new concepts, and indeed closes off the road to new concepts.

(Jones 1991, s. 97)

Absorption, stimulated emission, the photoelectric effect, the Compton effect and bremsstrahlung could be treated within the semiclassical approximation in which particles are described quantum mechanically whereas radiation is accounted for classically.

(Strnad 1981a)

Students should not be led to doubt that electrons, protons and the like are particles... The wave cannot be observed in any other way than by observing particles.

(Mott 1964, s. 409)

The optical duality is then a relic of the 1905-1927 interregnum, it remains serving mainly to mislead students into believing that light is at the same time undulatory and nonundulatory... In the opinion of the writers, elementary texts would do well to drop the corpuscular photon except as a historical topic on the same level as that of the Bohr atom and to substitute overtly the more widely applicable semiclassical model as a first approximation to the modern QED version.

(Kidd m. fl. 1989, s. 33)

Det er ikke lett å se at man ut fra så ulike ståsteder kan finne en enhetlig behandling av den tilsynelatende bølge-partikkel dualismen. Det kan virke som om alle er enige i at måten vi i dag behandler bølge-partikkel dualismen på, ikke er god. Noen løsninger foreslås i de siterte kildene og også i andre kilder som ikke er sitert her. Vi kommer noe mer tilbake til disse i konklusjonen.

Mitt møte med denne litteraturen kan beskrives ved at når jeg begynte mine litteratursøk så var jeg forvirret, og når jeg hadde lest en del var jeg forvirret på et høyere nivå. Dersom jeg blir spurt om å anbefale en foreløpig løsning på dette, må jeg si som londonborgeren som ble spurt av en turist om å finne veien til en bestemt turistattraksjon: Vel, jeg vet ikke, men hadde

jeg vært deg ville jeg ikke startet herfra! M. a. o: Det er rimelig ut fra bl. a. de kildene som siteres ovenfor, å fastslå at dagens pensum ikke er et godt utgangspunkt for å få en dypere innsikt i kvantefysikk: Det er imidlertid mye vanskeligere å formulere hvor vi vil og hvordan vi eventuelt kommer oss dit. Dette vender vi tilbake til i kapittel 5.3

2.4.4 Heisenbergs usikkerhetsrelasjon og sannsynlighet i kvantemekanikken.

I den klassiske mekanikken er størrelser i prinsippet bestemmelige (deterministiske). Heisenbergs usikkerhetsrelasjon forteller oss at vi må forlate et slik syn på fenomener i mikroverden. Schrödingers bølgelikning forteller oss at vi kan tilegne alle de mulige tilstandene for et elektron, foton, atom etc. en sannsynlighet. Før vi eventuelt gjør en måling, eksisterer i prinsippet en partikkel som en superposisjon av alle disse tilstandene. I vårt 3FY-kurs gir vi imidlertid ingen innføring i en slik formulering av kvantemekanikken og det spørs vel om det er ønskelig? Vi kommer tilbake til dette spørsmålet etterhvert.

Begrepet usikkerhet i Heisenbergs relasjon rommer imidlertid litt av den samme kvalitative informasjonen om hvordan kvantefysikken beskriver mikroverdenen. Elever har imidlertid problemer med å tilegne seg en god forståelse av dette usikkerhetsbegrepet med tilhørende sannsynlighetsfortolkninger. Sannsynlighet tolkes ofte som tilfældigheter (Mashhadi 1995, Niedderer m. fl. 1992) og usikkerhet forstås som en måleusikkerhet slik termen brukes i forbindelse med eksperimentelt arbeid, enten som en målefeil eller som en statistisk naturlig variasjon/standardavvik (Müller m. fl. 1999, Johnston m. fl. 1998).

Fletcher (1997) designet en oppgave hvor elever på universitetsnivå som hadde fått en formell innføring i Heisenbergs usikkerhetsrelasjon, ble konfrontert med en tenkt makroskopisk verden hvor Plancks konstant var lik 1. De skulle tenke seg at de sto på en holdeplass og skulle prøve å stige på en buss. De ble bedt om å tolke utfallet av et slik tankeforsøk i lys av Heisenbergs usikkerhetsrelasjon. Kun 9 % ga et tilfredsstillende svar på denne oppgaven.

2.4.5 Fotoelektrisk effekt

Det er gjort få undersøkelser som eksplisitt prøver å kartlegge elevers forståelse av fotoelektrisk effekt. I det norske fysikkpensumet er og har denne effekten vært sentral i kvantefysikken. Spesielt har man lagt vekt på Einsteins fotoelektriske likning. Dette er først og fremst en matematisk modell som ikke sier noe vesentlig om den elektromagnetiske strålingens natur (Kidd m. fl. 1989). Det er kort og godt en likning som forteller oss at energien er bevart i en fotoelektrisk prosess. Det er for såvidt nyttig å kjenne til dette, men det er ikke noe essensielt kvantemekanisk i denne likningen i seg selv. Fletcher (1997) har også for denne effekten prøvd ut en makroskopisk modell hvor eleven skal forestille seg en fugl som sitter på en streng. Denne fuglen svarer til et av valenselektronene i et metall. Denne fuglen kan tenkes å bli "slått av" denne strengen på to måter. Enten kan vi riste på strengen (bølgemodell), eller vi kan kaste steiner mot det stakkars dyret (partikkelmodell). Å øke intensiteten til lyset vil svare til enten å øke amplituden på strengen, eller ved å øke antallet steiner som kastes per sekund. Å øke frekvensen til det innkommende lyset svarer til enten å riste strengen oftere, eller å kaste steiner med stor kinetisk energi. Analysen viser at elever har problemer med å anvende denne makroskopiske modellen for å forklare hvordan fotoelektrisk effekt støtter en partikkelteori for lys.

I TIMSS ble det gitt tre oppgaver som handlet om fotoelektrisk effekt. Disse oppgavene ble brukt også i min undersøkelse. Jeg vil derfor kommentere TIMSS-resultatene i forbindelse med resultatene fra min egen undersøkelse.

Som vi ser er det lite som er gjort for å undersøke elevers forståelse av dette fenomenet. Det er imidlertid flere som har uttrykt at når man introduserer kvantefysikk bør man først se på elektroner og deretter på lysets kvantenatur (Mott 1964, F&L 1992, Jones 1991).

2.4.6 Helhetsbildet som forskningen gir oss

Gjennomgangen av forskningslitteraturen på dette området er med dette i bunn og grunn komplett. Det som mangler, er de artiklene som beskriver alternative undervisningsmetoder/prinsipper/opplegg. Dette vil som sag bli tatt opp i kapittel 2.4.

I en overfladisk beskrivelse merker vi oss at artiklene stort sett er fra 90-tallet, og mange av dem avsluttes eller innledes med en bemerkning om at den/de undersøkelsene som er gjennomført, er å betrakte som pilotprosjekter med behov for oppfølgingsprosjekter. Forskningen på feltet er altså i ferd med de innledende manøvrene hvor man grovt kartlegger elevers forestillinger innen kvantefysikk. Det kan dessuten konstateres som et faktum, uten at jeg dermed tillegger det noen vekt: De er skrevet av menn. Alle de ovennevnte karakteristikkene kan også brukes om denne hovedfagsoppgaven.

Mye av forskningen er gjort av tyskere. Dette kan nok sannsynligvis tilskrives den status som kvantefysikken har i det tyske “gymnaset”, og den posisjonen det tyskspråklige området har hatt i utviklingen av kvantemekanikken, hvor Einstein, Pauli, Schrödinger, Dirac og Heisenberg var svært sentrale skikkelser⁷.

En slags endelig oppsummering av disse resultatene må være at elever i møtet med kvantefysikken har store problemer med å utvikle en forståelse av kvantefysikken som noe radikalt nytt. De nye begrepene innordnes i den allerede klassisk orienterte begrepsstrukturen. F & L (1992b) har beskrevet utviklingen hos to enkeltelever, en fra test-gruppen og en fra kontrollgruppen. Intervjuer og skriftlige svar har blitt bearbeidet og tolket inn i et semantisk nettverk som viser den relasjonelle sammenhengen mellom de ulike begrepene. Disse viser at test-gruppen i større grad endrer hele skjemaet og beskriver atomer, elektroner og fotoner som kvanter med helt spesielle egenskaper som den klassiske fysikken ikke kan gjøre rede for. Elevene i kontrollgruppen har i større grad beholdt mye av den gamle strukturen, men bygget den ut. I Piagets terminologi kan vi si at test-gruppen har akkomodert den nye kunnskapen, mens kontrollgruppen har assimilert. Med terminologi fra tidlige formuleringer av en konstruktivistisk læringsteori kan vi si at elevene i test-gruppen har gjennomgått en conceptual change (XXX)

Fletcher og Johnston (1999) har undersøkt studenter som har studert fysikk i flere år på universitetsnivå. I sin oppsummering slår de fast at:

The result suggested that new concepts presented in class are considered superficially; reintegration of inappropriately associated pre-existing concepts does not frequently occur...

(s. 28)

Mashhadi (1995) støtter dette i sin konklusjon hvor han skriver:

⁷ Det er derfor noe overraskende at ikke danskene med Niels Bohr og den posisjon de har gjennom begrepet «the Copenhagen interpretation», ikke har levert vesentlige bidrag til denne forskningen.

The students, largely, are not conscious of their own conceptions and consequently do not begin to question them. The preliminary results of the study indicate that students have incorporated the 'new' quantum phenomena into the 'older' mechanistic conceptions. Further work will need to be done, but the current data implies that most students are not epistemologically aware that quantum physics constitutes a new 'paradigm'.

(s. 11)

Gil og Solbes (1993) har gått grundigere inn på det temaet som nevnes avslutningsvis i sitatet ovenfor. De har undersøkt lærebøker i fysikk i Spania med tanke på hvordan de presenterer overgangen fra klassisk fysikk til moderne fysikk. De har også hatt en spørreundersøkelse av lærere og elever og konkluderer med at:

1. *High school teachers and textbooks transmit an incorrect image of science, which ignores the existence of crises and paradigm shifts. The introduction of topics of modern physics, in particular, takes place without reference to its essential novelty or to the main differences between the classical and the new paradigm...*
2. *As a result of this orientation, pupils develop a very confused view of the evolution of scientific knowledge and show serious misconceptions of modern physics today.*

(s. 260)

Løsningen på dette problemet foreslås vagt:

In brief: modern physics was constructed against the classical paradigm, and its meaningful learning would demand a similar approach.

(s. 257)

I denne forbindelsen bør man imidlertid også sitere en advarsel som poengterer at dette paradimeskiftet ikke var enkelt selv for datidens eminente fysikere som jobbet med disse problemstillingene i forskningsfronten:

In school physics, the subject matter of modern theories is described with methods and conceptions of classical physics which, for this purpose, are insufficient. In so doing, all the unnecessary contradictions and difficulties are introduced into the school, which even the most outstanding physicists of the semi-classical epoch in physics (c. 1900-1925) had to grapple with because they had not yet fully uncovered the causes of these difficulties (Brachner/Fichtner 1974, p 84; translation by the authors of the present paper.)

(Fischler m. fl. 1992a)

Niedderer og Schecker (1992) antyder også at slike "paradigmatiske" skifter i en elevs forestillinger ikke er uproblematisk når de skriver:

Learning is seen as stable changes in the cognitive system...It remains to be investigated how "stability" evolves. We do not expect sudden shifts from an old conception to a new candidate but a fluctuating process of pondering concurrent conceptions in which the "new" one slowly gains strength.

(s. 86)

Jones (1991) oppsummerer det hele godt når han beskriver sin erfaring med A-level elever i Storbritannia

Instead of moving from classical mechanics to quantum mechanics, students move to an uneasy hybrid, mostly composed of ideas and pictures developed in the period 1900-1920, which went under the name of 'old quantum theory'. This produces half-

baked and incorrect conceptual models which stunt understanding and the development of interest.

(Jones 1991, s 93)

Vi legger i Norge også stor vekt på de første spede trinnene i kvantefysikken foretatt i de første tyve årene av dette århundret, og lite eller ingen vekt på utviklingen på tredve-tallet, med de første formuleringene av en genuin kvantemekanisk teori. Vi kan derfor forvente at mye av det som allerede er dokumentert i andre land, også gjelder våre elever.

3 Metode

Innledningsvis i denne delen gis det en generell redegjørelse for begrepene reliabilitet og validitet. Deretter peker jeg på noen momenter som er viktige i forbindelse med utvikling av gode oppgaver til fagdidaktisk forskning. Jeg vil deretter gjøre rede for historikken bak utviklingen av testen som til slutt ble brukt og jeg vil beskrive hvordan testen ble gjennomført. I den siste delen gis det en beskrivelse av og begrunnelse for hvordan dataene har blitt analysert.

Generelt kan man hevde at den fagdidaktiske forskningen er preget av et pragmatisk forhold til metoder. Valg av metoder gjøres først og fremst med utgangspunkt i problemstillingens natur. Man kan derfor si at forskningen som helhet bærer preg av metodisk pluralisme og metodisk triangulering (Sjøberg 1994). En trend er imidlertid at man i stor grad bruker kvalitative metoder (Angell 1996).

Denne oppgaven er også preget av et slikt pragmatisk forhold til metoder. Dette viser seg bl. a. ved at det har blitt gitt både åpne og lukkede oppgaver. Spesielt de åpne oppgavene har vært gjenstand for en kvalitativ metodisk innfallsvinkel med transkribering av elevsvar for å skaffe seg en oversikt, og definering av et tolkningsrom i form av etablering av kategorier som er ment å skulle fange inn vesentlige sider ved disse svarene. Til slutt har imidlertid alle data blitt kvantisert og de presenteres typisk i form av tabeller med relative frekvenser.

3.1 Validitet og reliabilitet

Når man utvikler et instrument som er tenkt å måle en gitt størrelse, må man alltid ha i bakhodet at dette kan gjøres på mange ulike måter. Man kan velge mellom ulike oppgaveformater og formuleringer. Det er derfor viktig å vurdere om oppgavene som utvikles, enten hver for seg eller totalt, måler det den er tenkt å skulle måle, og om den måler dette på en pålitelig og konsistent måte. Dette er en kort formulering av hva vi legger i henholdsvis begrepene validitet og reliabilitet. Jeg gir nedenfor en noe mer utvidet drøfting av begrepene, men det er fortsatt å betrakte som en relativt overfladisk behandling av temaet. Jeg gir f. eks. ikke noen innsikt i de mer formelle, matematisk formulerte sidene ved begrepet og viser til de refererte kildene for en grundigere behandling.

3.1.1 Validitet

Med validitet mener vi altså et mål på i hvilken grad en test, en samling av flere oppgaver eller enkeltoppgaver, måler det den er tenkt å skulle måle. I dette ser vi at man kan ha ulike perspektiver i slike validitetsvurderinger.

I et testteoretisk eller psykometrisk perspektiv er man opptatt av hvordan et helt oppgavesett, en test, gir en totalscore som representerer et mål på en overordnet egenskap. Eksempler på slike overordnede egenskaper kan være intelligens, evne til empati, motivasjon, holdning, dyktighet i fysikk eller dyktighet i kvantefysikk. Det eksisterer ikke noe godt norsk ord, men i en engelskspråklig tradisjon kalles slike størrelser for constructs. Et viktig budskap å ta med seg på veien er at man i en slik testteoretisk tradisjon har en ydmyk holdning til realiteten til slike construct:

Et construct er et hypotetisk begrep, og eksistensen av et construct kan aldri bli absolutt bekreftet. Det er heller ikke direkte målbart. Vi...operasjonaliserer constructet i form av variable...Sammen kan variablene belyse det, men de kan ikke fange opp alle sider ved constructet. En variabel måler også ofte noe annet i tillegg til det ønskede construct.

(Kleve 1994)

I et fagdidaktisk perspektiv er man ofte også interessert i å vurdere hvorvidt enkeltoppgaver, eller en samling av flere oppgaver, kan gi god og pålitelig diagnostisk informasjon. Med diagnostisk informasjon mener jeg konkret informasjon som kan fortelle noe om hvordan en enkeltelev eller typiske elever tenker rundt en gitt problemstilling. I et slik perspektiv vil validitetsvurderinger bestå av betraktninger rundt valg av oppgaveformat og formulering av spørsmålet i oppgaven. Vi kommer mer tilbake til dette i senere avsnitt i dette kapittelet.

Det er viktig å presisere at validitetsbegrepet referer til noe annet enn oppgavene/testen i seg selv (Angell 1996). Man kan generelt si at det eksisterer tre ulike validitetsbegreper: Innholdsvaliditet, kriterievaliditet eller constructvaliditet (Ary m. fl. 1996, s. 262-273). I denne oppgaven vil validitet være ensbetydende med innholdsvaliditet

Innholdsvaliditet vil typisk vurderes ved å foreta en ekspertvurdering av oppgavene. Dersom et bestemt utvalg av oppgaver skal måle elevenes forståelse av fotoelektrisk effekt, må man ha i bakhodet at det i prinsippet finnes uendelig mange formuleringer av mulige spørsmål og formater på spørsmål. Eksperten, f. eks. en fysikklærer kan så uttale seg om oppgavene i større eller mindre grad fanger inn det emnet som det er ment å fange inn. Ved fysikkeksamen vil det f. eks. være viktig å vurdere om eksamenssettet som helhet dekker målene godt, både med tanke på emner som dekkes og vanskegrad i forhold til den læreplan som eksisterer. Slike vurderinger av innholdsvaliditet gir i forbindelse med drøftinger av oppgavene i kapittel 4.

3.1.2 Reliabilitet

Når man utvikler en test, vil denne som regel bestå av flere oppgaver. Reliabilitet omhandler i denne sammenhengen hvor konsistent eller pålitelig oppgavene måler det de skal gjøre. Man kan derfor si at reliabilitet er et slags mål på hvor representativ testen er. Oppgavene som gis til en test er et mer eller mindre representativt utvalg av alle mulige oppgaver innen det aktuelle emnet. Reliabiliteten uttrykkes gjerne som et tall mellom 0 og 1. Jo nærmere dette tallet er 1, jo bedre kan vi si at oppgavene i testen representerer mengden av alle mulige oppgaver.

Idéelt kan vi si at en reliabel test er en test hvor en elev oppnår et tilsvarende resultat hver gang han/hun foretar testen eller en ekvivalent test. I praksis er det vanskelig å definere reliabilitet på denne måten fordi det er tidkrevende og fordi det å besvare testen for andre gang vil oppfattes som mer slitsomt, mer meningsløst etc. enn første gang. Man har derfor utviklet metoder som gjør det mulig å vurdere reliabilitet ut fra én enkelt test ved at flere individer har gjennomført den samme testen.

Resultatet av en slik reliabilitetsvurdering uttrykkes altså ved en reliabilitetskoeffisient. Denne kan noe teknisk sies å uttrykke hvor stor andel av variansen i svarene som skyldes en sann variasjon i de kunnskapene som oppgavene er tenkt å måle (Angell 1996).

I denne oppgaven vil jeg bruke en koeffisient som kalles Cronbachs α som et mål i forbindelse med korrekthetsanalysen som foretas (se kap. 4.8). Jeg beregner også denne i forbindelse med vurdering av elevers holdninger (se kap. 4.2). Denne faktoren beregnes på

grunnlag av korrelasjonen mellom alle enkeltoppgavene, og den vil derfor generelt være høy dersom alle oppgavene måler noe av det samme. En test med høy Cronbach α vil derfor kunne tolkes som å være en test som indikerer eksistensen av et underliggende construct. For en detaljert redegjørelse for denne og andre mulige reliabilitetskoeffisienter viser jeg til Ary m. fl. (1996, kap. 8). Når jeg velger denne koeffisienten er det fordi den er ofte brukt, og fordi det er denne koeffisienten man får når man bruker dataprogrammet SPSS 8.0. I en slik reliabilitetsanalyse kan man også regne ut koeffisienten dersom en av oppgavene ikke tas med. Dersom Cronbachs α stiger når en bestemt oppgave ikke tas med, er dette en indikasjon på at denne bestemte oppgaven ikke bidrar godt for å måle constructet. Man må da vurdere om man skal se bort fra denne oppgaven. I en slik vurdering bør man bl. a. se på hvilke konsekvenser en slik stryking av oppgaven har for innholdsvaliditeten. Det er viktig å nevne at Cronbach α generelt vil bli høyere jo flere oppgaver man har med i testen. Dette er en sterk begrensende faktor i forbindelse med min test.

Det hadde vært ønskelig også å angi hvor pålitelig jeg har brukt det kodesystemet som er blitt utviklet. Dette gjøres typisk ved å ha flere sensorer som bruker det samme kodesystemet. Dersom alle sensorene er enige er påliteligheten høy. Dette kan tallfestes, og man kaller denne typen reliabilitet for sensorreliabilitet. Dette har ikke blitt gjort ved kodingen av denne testen.

Vi ser altså at det opereres med flere ulike reliabilitetsbegrep, og de to som er nevnt uttrykker to vidt forskjellige ting.

Det er ellers verdt å merke seg at en test kan ha høy reliabilitet uten å ha høy validitet, men skal testen ha høy validitet må den også ha høy reliabilitet. Disse to sidene ved en test kan dessuten være i konflikt med hverandre. Dersom man ønsker å diagnostisere elevers forståelse av ett eller flere begreper, må man prioritere validiteten i en test. Dette kan medføre at man kanskje må gi en åpen oppgave. Dette vil imidlertid føre til lavere reliabilitet. Man kan si at fysikkeksamen i Norge har prioritert at det er viktig at eksamen måler elevers forståelse av fysikk, og det er derfor viktig med høy innholdsvaliditet (Angell m. fl. 1993). Som en motpol til denne tradisjonen kan vi nevne eksamensordninger i USA hvor rettferdighetsperspektivet har blitt prioritert. Dette har medført en større bruk av flervalgsoppgaver. Dette gir større reliabilitet både fordi sensorreliabiliteten blir høyere (i teorien lik 1 ved maskinell behandling), og fordi indre konsistens reliabilitet (f. eks. Cronbach α) automatisk blir høyere når antallet oppgaver øker. Slike flervalgsoppgaver kan også ha høy validitet, men det er ikke en konsekvens av reliabiliteten alene. Man må også vurdere i hvilken grad oppgavene kan sies å fange opp de kunnskaper og ferdigheter eleven er forventet å skulle ha ifølge beskrivelsen av faget.

3.2 Hvilken betydning har oppgaveformatet for elevers svar på spørsmål?

Jeg ønsker i dette kapitlet å presentere ulike mulige oppgaveformater for å måle elevers forståelse i fysikk. Formatene blir delt grovt inn i to, lukkede og åpne oppgaver. Det er flere faktorer som virker inn på hvilket oppgaveformat man bør velge. Noen eksempler på slike faktorer er problemstillingen, hva slags analyser man ønsker å gjøre, økonomiske begrensninger, tidsbegrensninger etc. Jeg har for en stor del brukt Angells (1996) doktorgradsavhandling som kilde i denne delen. Jeg refererer derfor kun alle de andre kildene i disse avsnittene.

3.2.1 Lukkede oppgaver

De fleste oppgavene som benyttes i TIMSS-undersøkelsen er flervalgsoppgaver. Med flervalgsoppgaver menes det at eleven kun skal svare ved å markere ett av flere skrevne og/eller illustrerte alternativer. Det eksisterer kun ett riktig alternativ. De resterende alternativene kaller man distraktorer (Thorseng 1997). Det er derfor rimelig å si at slike oppgaver er lukkede fordi eleven ikke kan velge formen på svaret. En annen type lukkede oppgaver har en form hvor eleven skal ta stilling til om en påstand er riktig/gal eller om de er enige/uenige. Jeg har ikke benyttet denne formen og velger derfor ikke å drøfte dette oppgaveformatet eller andre lukkede oppgaveformater videre.

Generelt må man kreve når man velger å benytte flervalgsformatet, at man kjenner alle mulige relevante responser til spørsmålet. Dessuten bør antallet av slike potensielt relevante responser være begrenset (Ary m. fl. 1996). Et enkelt eksempel er spørsmålet om kjønn med kun to relevante responser.

Alle som har prøvd å lage gode flervalgsoppgaver, vet at utfordringen ligger i å lage gode distraktorer. Et av kravene til slike distraktorer er at de ikke virker urimelige. Vi kan generelt si at distraktorene ikke skal skille seg vesentlig fra det «riktige» alternativet på noen andre kriterier enn innhold (underforstått at det er innholdet i distraktorene som er det interessante i forhold til problemstillingen som ligger i bunn).

En annen kjent teknikk er gjetting, eller en strategi som «er du usikker, velg C». Oppgaver hvor alle alternativene får omtrent like stor tilslutning kan tolkes som at elevene har gjettet. Jeg vil imidlertid anta at norske elever ikke vil bruke en slik strategi i særlig grad. Dette fordi de ikke er vant til å besvare oppgaver med dette formatet.

Den tilsynelatende svakheten ved slike oppgaver er at de ikke kan fortelle oss hvordan eleven har tenkt når han/hun valgte et bestemt alternativ. I fagdidaktisk forskning er man ofte interessert i informasjon som kan gi oss en slags diagnose på elevers tenkning i bestemte fysikkemner og kontekster. Flervalgsoppgaver kan imidlertid fungere meget godt dersom man undersøker et tema hvor man allerede kjenner de mest vanlige alternative forestillingene. Utfordringen da ligger i å lage distraktorer som dekker de ulike alternative forestillingene som er kjent. Dersom man lykkes med dette vil flervalgsformatet kunne trigge elever på ønsket måte. Med trigge mener jeg at oppgavene blir oppfattet på samme måte av alle elevene, og de oppfatter oppgaven slik forskeren har ment at den skal forstås. Dersom man på forhånd ikke har kjennskap til typiske forestillinger, er det vanskelig å bruke flervalgsoppgaver diagnotisk.

Likevel kan slike oppgaver fungere i en testteoretisk sammenheng hvor man ikke først og fremst er interessert i hver enkeltoppgave isolert, men heller hvordan oppgavene som utgjør spørreskjemaet fungerer som helhet for å måle et bestemt 'construct', en hypotetisk eller postulert størrelse. En slik størrelse kan f. eks. være 'intelligens' eller 'dyktighet i fysikk'. Det at en oppgave fungerer godt i en testteoretisk sammenheng innebærer noen enkle krav som f. eks. at oppgaven bør være av middels vanskegrad, og oppgaven bør ha høy diskrimineringssevne, dvs at en elev som har høy totalscore, har større sannsynlighet for å svare riktig på denne oppgaven enn en elev som har dårligere score.

I TIMSS-testen er det noen oppgaver som tilsynelatende kun har denne målsetningen. Ett av hovedkriteriene for valg av oppgaver i TIMSS har vært at de skal fungere godt testteoretisk. For noen av oppgavene innen moderne fysikk er det vanskelig å se at distraktorene er utviklet med tanke på kjente alternative forestillinger. Dette henger naturligvis sammen med at man ikke kjenner elevers forestillinger innen disse emnene så godt.

Tamir (1990) har foreslått et format hvor elevene må begrunne sitt valg i en flervalgsoppgave, eller at eleven angir hvor sikker han/hun er på at det valget som er gjort er riktig. Tamir mener også at flervalgsoppgaver ikke nødvendigvis må formuleres slik at eleven skal avmerke det riktige svaret, men heller det beste av flere svar som kan være delvis riktige. Dette vil innebære at man kan si mer om de resonnementer som elevene har gjort, noe som er viktig i en analyse hvor hver enkelt oppgave skal bidra til å gi oss informasjon om elevers tenkning på konkrete fysikkfaglige områder. Det vil dessuten kunne gi forskeren en informasjon om hvordan oppgaven ble forstått. Dette er interessant med tanke på å vurdere oppgavens validitet.

Andre sterke sider ved flervalgsoppgaver er at man ofte får en høy sensorreliabilitet og lave kostnader ved koding. Slike oppgaver tar dessuten kort tid å besvare noe som medfører at man i løpet av ganske kort tid kan få svar på flere oppgaver. Dette vil også gi utslag i høyere reliabilitet.

I den norske skolen har vi ikke tradisjon for å bruke dette oppgaveformatet. Angell og Lie (1993) undersøkte de norske fysikkeksamenene i perioden 1989-1992 for å undersøke hvor «rettferdig» denne er. Denne undersøkelsen viser at det største problemet med fysikkeksamen i et slik perspektiv, er at oppgaveutvalget ikke er et representativt utvalg av mulige oppgaver. Ønsker man å øke denne reliabiliteten kan dette gjøres ved å øke antall oppgaver. Angell og Lie foreslår at dette kan gjøres ved å erstatte én av de fem oppgavene som gis til eksamen, med ca. 30 flervalgsoppgaver. En slik omlegging vil kunne øke reliabiliteten til eksamen uten at det reduserer validiteten.

3.2.2 Åpne oppgaver

I denne sammenhengen oppfattes åpne oppgaver som oppgaver hvor elevene skal utforme egne svar. Alternativer gis ikke. Det sier seg derfor selv at det finnes mange ulike typer åpne oppgaver, og at graden av frihet for eleven til å besvare oppgaven slik han/hun vil, kan variere mye.

I det norske fysikkfaget er man vant til å arbeide med oppgaver hvor det blir gitt en problemstilling som er mer eller mindre åpen. Våre elever arbeider ofte med oppgaver som involverer at de skal bruke en bestemt formel for å løse problemet. Til eksamen forventes det imidlertid av en oppgave at den skal være i stand til å avsløre om eleven har forståelse for faget (Angell m. fl. 1990 og 1993 og Angell 1996). Det er noe uklart hva man mener med forståelse i denne sammenhengen, men forståelse oppfattes nok å ligge på et høyere kognitivt nivå enn i Blooms taksanomi (Angell 1996) (se også kap. 2.1.2).

Ved utformingen av åpne oppgaver må man være bevisst at ulike formuleringer kan gjøre at oppgaven oppfattes ulikt av elevene. Dette vil kunne påvirke elevenes prestasjoner og det vil virke inn på de muligheter man i ettertid har for å analysere og trekke konklusjoner. Thorseng (1997) har vist at ulike formuleringer på oppgaver kan gi store utslag på elevenes svar. Læreren eller forskeren må derfor ha et reflektert forhold til det å formulere oppgaver med tanke på hva han/hun ønsker å få informasjon om. Er man f. eks. ute etter faktaopplysninger, er det ønskelig med presise, avgrensede oppgaver, gjerne med flere deloppgaver. Dersom man ønsker å vurdere elevenes evne til å resonnerer, må oppgaven utformes mer åpen.

Man må dessuten være klar over at den som i ettertid skal trekke informasjon ut fra disse svarene, om det er en lærer eller en forsker i fagdidaktikk, vil tolke svarene i forhold til noen kriterier. Læreren har bevisst eller ubevisst noen kriterier som kjennetegner et godt svar som skal belønnes med en god karakter. I en validitetssammenheng er det viktig at disse kriteriene

er utformet i forhold til de kriteriene som ble lagt til grunn når oppgaven ble laget. Dessuten er det viktig at ulike lærere bruker de samme kriteriene og at disse oppfattes noenlunde likt. Hensynet til en slik nasjonal standard er langt framme i norske læreres bevissthet rundt sin egen karaktersetting.

Fagdidaktikeren vil søke å konsentrere den informasjonen som finnes i svarene ved å foreta en høyere ordens beskrivelse der han/hun danner kategorier som ulike elevers svar plasseres i. Disse kategoriene kan være delvis utarbeidet på forhånd, men det typiske er at de utarbeides etterhvert som man behandler svarene. For fagdidaktikeren som for lærerne, er det viktig å utforme beskrivelser av disse kategoriene som er så entydige at flere sensorer bruker kategoriene på samme måte i kodingen.

Dersom man skal bruke et slik oppgaveformat vil altså arbeidet med å finne egnede koder, og deretter å bruke disse kodene på en konsistent måte, være en omfattende prosess hvor flere samarbeider om både kodeutviklingen og rettingen. Typisk gjøres dette ved at man først lar to eller flere sensorer se gjennom noen av elevsvarene for å danne foreløpige kategorier. Man møtes så for å diskutere de kategorier man har dannet, og blir enige om et felles sett. Dette blir så prøvd ut på noen nye besvarelser. Man møtes på ny for å se gjennom om man var i stand til å bruke kodene på samme måte. Dersom det er store forskjeller vil man søke å finne årsaken til dette. En ny utprøving foretas, og denne prosessen fortsetter til man oppnår en sensorreliabilitet som man er fornøyd med. For åpne oppgaver vil denne typisk være lavere enn for flervalgsoppgaver. I TIMSS-undersøkelsene rapporteres denne å være på over 0,9 i Norge, noe som er et resultat av en slik omfattende prosess hvor man finner et egnet kodesystem og trener sensorene godt. En slik fremgangsmåte er, som tidligere antydnet, ikke benyttet i arbeidet med den testen som ligger til grunn for denne oppgaven, men det hadde idéelt sett vært ønskelig å gjennomføre kodingen på denne måten.

I en slik prosess vil man forhåpentligvis også avdekke elever som prøver å maskere at de har dårlige kunnskaper innen det oppgaven spør om. Elever som er flinke til å skrive, kan bruke en slik teknikk som ikke alltid er så lett å avsløre.

Hovedstyrken med oppgaver som har dette formatet, er at de vil generelt inneholde mer informasjon om elevens kognitive ferdigheter. Man kan vurdere **riktigheten** til besvarelsen og angi dette ved en kode som svarer til poeng gitt på oppgaven. Man kan også foreta analyser der man kartlegger **innholdet** eller **formen** til elevenes svar uten å vurdere riktigheten av disse.

I TIMSS-testen ble det brukt noen åpne oppgaver som ble kodet og rettet etter en prosess som ligner den beskrevet ovenfor. Man utviklet et kodesystem for disse oppgavene som skulle fange inn to dimensjoner, både riktighet og innholdet i besvarelsen (Angell 1996, Gjørtz 1995). Dette ble gjort ved å utvikle tosifrede koder der første siffer anga riktighetsgrad, 2 for riktig, 1 for delvis riktig, 7 for feil og 9 for manglende svar eller vanskelig å tolke. I riktighetsanalysen ble kodene som startet med 7 eller 9 rekodet til 0. Det andre sifferet sa noe om innholdet i svaret. Kategoriene som ble brukt for å beskrive innholdet var gjensidig utelukkende, og de ble laget med utgangspunkt i autentiske elevsvar. Jeg har brukt en av disse oppgavene, oppg. 7 i testen, og gir i forbindelse med presentasjonen av denne et grundig eksempel på dette kodesystemet (se kap. 4.4.2).

Avslutningsvis vil jeg nevne at åpne oppgaver kan medføre et validitetsproblem fordi de forutsetter gode skriveferdigheter. Dette gjelder først og fremst ved undersøkelser av barn som ikke ennå har godt utviklete evner til å uttrykke seg skriftlig. Dette anses imidlertid ikke å være et stort problem i forbindelse med denne testen.

3.3 Utvelgelse av oppgaver fra TIMSS-testen

TIMSS-testen inneholdt tre oppgaver som omhandlet noen av de emnene som min problemstilling nevner. Disse (oppgave F7, F15 og H3 i TIMSS) handlet om fotoelektrisk effekt. En oppgave fra forsøkstesten som ble gjennomført før TIMSS som omhandlet Heisenbergs usikkerhetsrelasjon ble også tatt med. En fullstendig beskrivelse av oppgavene og en nærmere vurdering av disse gis i resultatdelen. Begrunnelsen for å ta med disse oppgavene var at elevene som hadde deltatt på TIMSS eller i forsøkstesten, hadde fått undervisning etter den forrige fagplanen i faget, mens de elevene som jeg testet hadde fulgt den nye planen. Dette kan brukes for å se om endringer i læreplanen medfører endringer i elevers forståelse.

3.4 Pilottest februar/mars 1999

I denne delen vil jeg beskrive prosessen bak utviklingen av det endelige spørreskjemaet til elevene. En pilottest ble utviklet (vedlegg XXX) og testet ut på studenter som følger kurset FYS111 «Mekanikk» ved UiO. For de fleste av disse var dette kurset deres første fysikkurs utover videregående skole. De aller fleste hadde 3FY som sitt siste kurs, mens noen hadde 2FY + FYS050 «Grunnkurs i fysikk» ved UiO. Disse studentene har derfor ikke mottatt undervisning i kvantefysikk utover det de hadde lært i 3FY.

Det ideelle hadde vært å prøve ut pilottesten på 3FY-elever, men dette var umulig uten å forlenge mitt studium med ett år. Kvantefysikken er et av de aller siste emnene elevene mottar undervisning i, og det ville ikke vært tid til å ha en pilot og analyse av denne i løpet av de få ukene som er igjen av skoleåret etter at de har avsluttet undervisningen i dette emnet.

Det ble utviklet 4 sett med spørreskjemaer. A1-B1 utgjør et par, hvor oppgavene i B1 er ment å tilsvare oppgavene i A1 med noe ulik formulering. For eksempel ser vi at oppgave 4 i begge settene handler om bølgelengden til elektroner. Oppgavesettene ble delt ut i pausen mellom to forelesningstimer. Elevene fikk dermed 15 minutter til å besvare testene. Av totalt 80 oppmeldte studenter, hadde 40 møtt og 30 studenter svarte på oppgavene i skjema A1-B1. Noen flere møtte uken etter hvor skjemaene A2-B2 ble delt ut. Disse to utgjør også et par hvor ulike oppgaveformuleringer ble prøvd ut.

Besvarelsene ble lest gjennom, og for noen av oppgavene ble elevenes besvarelser transkribert. Eventuelle problemer som ble avdekket ved oppgavene, ble notert. Det ble imidlertid ikke gjort noen fullverdig analyse av disse svarene. De vurderinger som ble gjort for hver oppgave oppsummeres i de kommende avsnittene. Denne gjennomgangen ga imidlertid indikasjoner på om oppgavene fungerte eller ikke. Jeg viser til vedlegg 7 for selve oppgaveteksten.

Studentenes svar var preget av en språklig modenhet som jeg kun ser hos de flinkeste av mine egne 3FY-elever. Mange hadde tydeligvis lært noe kvantefysikk utover det som er pensum i den videregående skolen. Generelt kan man vel forvente at studentene som følger dette kurset var blant de flinkeste og mest interesserte/motiverte elevene i 3FY-kurset i sin tid.

Oppgave 3 og 6 var identiske i begge testene. Mens oppgave 4, 5 og 7 var oppgaver hvor to ulike formater ble utprøvd i de parallelle testene.

3.4.1 Oppgave 3

Oppgaven kan ikke gis kun som en flervalgsoppgave. Eleven må gis mulighet til å begrunne svaret sitt. For distraktorene A og C er det ikke noe klart skille. Det virker ikke som om

elevene skiller så godt mellom og/eller formuleringer. Man finner de samme begrunnelsene blant de som valgte A og de som valgte C. Men begrunnelsene er i seg selv interessante og det kan virke som om det er mulig å foreta en fornuftig kategorisering av svarene. De få studentene som velger alternativ E har begrunnelser som klart skiller seg ut som gode (riktige) begrunnelser.

3.4.2 Oppgave 6

Denne oppgaven må ses i sammenheng med oppgave 3 fordi de har helt tilsvarende formuleringer. Den eneste forskjellen er at lys er byttet ut med elektroner. Det samme synes å gjelde for distraktorene A og C som nevnt ovenfor. Den største forskjellen ligger imidlertid i at studentene har større problemer med å begrunne det valget de foretar her. Et elevsvar som kan illustrere dette:

«Elektroner er ladninger. De beskrives ofte som partikler, og kan beskrives som bølger. Men man vet egentlig ikke noe mer om hvorvidt de er bølger eller partikler. Jeg velger likevel å si at elektroner er partikler fordi det er det som er mest nærliggende å tro»

3.4.3 Oppgave 3 og 6 sett i sammenheng

Når vi sammenligner samme elevs svar på oppgave 3 og 6 ser vi at mange skifter fra alternativ A, C eller D på oppgave 3 (i alle disse alternativene har lys bølgenatur) til alternativ B for oppgave 6. Lys blir altså i større grad oppfattet som bølger, mens elektroner oppfattes som partikler. Dette resultatet, sammen med min anelse om at det er mulig å analysere disse begrunnelsene på en fornuftig måte, gjorde at oppgavene 3 og 6 ble beholdt i den endelige testen.

3.4.4 Oppgave 4

Oppgave 4 i test A1 besto av en flervalgsoppgave som skulle begrunnes, mens oppgave 4 i test B1 var åpen. Begge oppgavene var vanskelig å analysere fordi elevenes svar sprikte veldig. Svarene viser imidlertid tydelig at forståelsen av elektronets bølgelengde er svak. Mange bruker ord som materiebølgelengde og deBroglie-relasjonen uten å forklare innholdet i disse begrepene. Oppgavene var tydeligvis ikke nok avgrenset og en ny formulering ble prøvd i det endelige spørreskjemaet.

3.4.5 Oppgave 5

For begge utgavene gjelder det at svarene var veldig sprikende. Elever oppfatter tydeligvis oppgaven ulikt. Det er interessant å merke seg at en stor andel nevner relativitetsteorien og relativistiske effekter. Dette er kanskje et resultat av at relativitetsteorien var temaet i forelesningene denne dagen, hvor bl. a. compton-effekten ble behandlet. Dette kan ha ført til at elevene oppfattet relativitetsteorien og kvantefysikk som veldig nært beslektede emner. Oppgavene ble ikke brukt i det endelige spørreskjemaet fordi de virket å være for vage/upresise.

3.4.6 Oppgave 7

Begge oppgavene fungerte tilsynelatende tilfredsstillende. Besvarelsene på oppgave 7 i A2 viser at studentene har ulik oppfattelse av modellbegrepet generelt. Svarene er dessuten lette å

kategorisere. I test B2 ble oppgaven gitt som flervalgsoppgave mellom mange ulike modeller av atomet. Disse distraktorene ble utarbeidet med tanke på de ulike forestillingene som andre har dokumentert. Dette har jeg behandlet grundigere i avsnitt 2.3.2.

Noen av disse distraktorene ble ikke valgt. Begrunnelsene viser at distraktorene fanger inn det som de var ment å fange inn. Spesielt viser det seg at flertallet av de mange som hadde valgt alternativ C (skymodellen) gir begrunnelser ut fra kvantefysiske prinsipper (Heisenbergs usikkerhetsrelasjon eller indeterminisme/ sannsynlighet generelt). Noen få elever sier at de kunne ha valgt flere av disse modellene avhengig av kontekst/problemstilling. I den endelige testen ble begge oppgavene med for å se på om elevene avgir svar som kan sies å være konsistente.

Flervalgsvarianten ble noe endret. For det første ble de distraktorene som ikke ble valgt utelatt. Dette førte til at antall distraktorer i den endelige oppgaven ble 6, mot 8 i pilottesten. Dessuten ble elevenes mulighet til å begrunne valget sitt fjernet. Dette ble gjort fordi pilottesten viste at distraktorene i seg selv fanger opp elevenes forestillinger på en grei måte.

3.5 Det endelige spørreskjemaet til elevene

Av det som kommer fram ovenfor, ser vi at oppgavene som til slutt ble inkludert besto av 4 oppgaver fra TIMSS-prosjektet og 5 egenutviklede oppgaver som til en viss grad hadde vært prøvd ut i en pilottest. Spørreskjemaet ellers besto av kartlegging av noen få bakgrunnsvariabler og noen spørsmål knyttet til elevenes egen opplevelse av kvantefysikken sammenlignet med resten av faget. Spesifikke vurderinger knyttet til hvert enkelt spørsmål gis i kapittel 4 i forbindelse med presentasjonen av oppgavetekst, resultater og drøftinger av disse.

Generelt kan vi si at det er flere faktorer som har spilt inn i utformingen av oppgavene. Det ble lagt vekt på at språket skulle være så enkelt som mulig. I tillegg hadde jeg bevisste ordvalg som ble benyttet i hver oppgave som jeg tar opp senere. Foruten språk var innholdet tilsammen i oppgavene viktig. Dette innholdet måtte reflektere problemstillingen som ligger i bunn, men det var også tanken at oppgavene skulle reflektere sentrale sider i fysikkfaget slik at undersøkelsen kunne betraktes som en del av undervisningen i faget. I dette siste lå det et klart motivasjonselement som jeg kommer tilbake til i kapittel 3.7. Dessuten bestemte jeg meg tidlig for at testen skulle kunne gjennomføres i løpet av en enkelt skoletime. Dette var også med tanke på å øke svarprosenten. Testen ble gjennomført i en periode som er preget av travelhet og den nært forestående eksamen i faget. Jeg vet fra min egen praksis som lærer at det kan være vanskelig å slippe til i disse timene på våren.

3.5.1 Bakgrunnsvariabler

Jeg valgte å ta med spørsmål om bakgrunnsvariablene kjønn, læreverk og karakter i 3FY i første termin. Hensikten med dette var å se på om det var en sammenheng mellom disse variablene og elevenes svar på oppgavene.

Kjønnsvariasjoner er interessante i seg selv. Spesielt interessant er dette i Norge. Til tross for at vi framstår som et land som har kommet langt innen likestilling mellom kjønnene, viste TIMSS-resultatene at det eksisterer betydelige kjønnsforskjeller. Forskjellene er ikke så store i populasjon 2, altså når elevene er i første del av ungdomsskolen (Lie m. fl. 1997), men forskjellene blant de som avslutter 12 års skolegang, generalistene i populasjon 3, er aller størst i Norge både i matematikk og naturfag (Angell m. fl. 1999). Likeledes viser det seg at jenter i større grad enn gutter, uttrykker at de ikke liker fysikk. Norge fremstår også som et

land hvor få elever velger en spesialisering innen fysikk. Kun 8% av årskullet velger det avsluttende fysikkurset 3FY. Ser vi dette sammen med det faktum at jenteandelen i 3FY hører til de laveste blant de land som vi sammenligner oss med i denne undersøkelsen, kun 26%, blir beskrivelsen ennå mer deprimerende lesning sett i et kjønnsperspektiv. Altså: Ca. 4% av alle jenter ender opp med full fordypning i fysikk!

Et annet kjønnsrelatert funn fra TIMSS sin undersøkelse blant fysikkspesialistene i populasjon 3, som er verdt å nevne, er at det ikke eksisterer signifikante forskjeller i karakter til 1. termin, men guttene scorer signifikant bedre på testen i TIMSS. Det finnes imidlertid enkeltoppgaver hvor jentene gjør det signifikant bedre enn guttene. Dette er oppgaver som er preget av å være 'skolefysikk', dvs fysikk uten en praktisk/hverdagslig kontekst (Angell m. fl. 1999). En av disse oppgavene var også med i min undersøkelse (oppgave F7 i TIMSS, oppgave 6 i min undersøkelse).

Læreverk er interessant fordi de ulike læreverkene har noe ulik behandling av deler av kvantefysikken (se kap. 2.2.4).

Karakteren ble tatt med først og fremst fordi den kan brukes som en enkel indikator på om mitt utvalg kunne sammenlignes med de utvalgene som deltok på forsøkstesten til TIMSS og selve TIMSS-testen.

3.5.2 Holdningsfaktorer

Jeg var også interessert i å se om det var en sammenheng mellom faktorer knyttet til elevers affektive forhold til kvantefysikken og deres prestasjoner på testen. De fire faktorene som jeg valgte, var om elevene oppfattet kvantefysikken som spennende, nyttig eller vanskelig. Dessuten spurte jeg om elevene kunne tenke seg mer eller mindre kvantefysikk i forhold til dagens pensum. De tre variablene spenning, nytte og mengde antar jeg kan generaliseres til en samlevariabel som representerer constructet 'holdning til fysikkfaget'. Dersom dette antas, kan det være interessant å se på sammenhengen mellom denne variabelen og prestasjonene på testen.

Det må tilføyes at man på forhånd ikke kan forvente å få dette constructet verifisert empirisk. Dette skyldes først og fremst at det er for få variable til å gjennomføre noen meningsfulle analyser. At disse variablene tilsammen utgjør et slik construct er derfor kun en antagelse.

3.6 Lærerspørreskjemaet

Jeg fant det formålstjenlig å utvikle et spørreskjema som lærerne skulle besvare (se vedlegg 2). Dette ble ikke utviklet med tanke på å undersøke læreres forhold til faget. Til det er antallet, 20 lærere, for lite til å gi en meningsfull beskrivelse. Tanken med dette spørreskjemaet var å kartlegge noen bakgrunnsvariabler hvor læreren antas å være en mer pålitelig kilde. For det første var det noen spørsmål knyttet til gjennomføringen av testen. Hensikten med disse spørsmålene var å se om elevene fikk så lang tid på undersøkelsen som jeg hadde lagt til grunn (én undervisningstime), samt å få et inntrykk av om dette var nok tid, og om oppgavene ble forstått (spørsmålene 1-4 vedlegg 2). Dessuten var det noen spørsmål knyttet til undervisningstid og innhold (spørsmålene 5-9, vedlegg 2). Disse spørsmålene drøftes i forbindelse med bakgrunnsvariablene i elevspørreskjemaet i kap. 4.1.

3.7 Utvalg

I dette avsnittet gjør jeg rede for utvalgets størrelse og sammensetning. Jeg vil også gjøre rede for hvordan utvalget ble plukket ut. Med utvalget menes det her de elever som ble trukket ut til å svare på det elevspørreskjemaet som jeg selv utviklet. Jeg vil ikke omtale TIMSS-testens utvalg fordi dette er behørig behandlet av andre som var direkte delaktige i prosessen (Angell 1996, Lie m. fl. 1998, Angell m. fl. 1999).

Rekrutteringen til undersøkelsen var preget av noe tidsnød som jeg vil komme tilbake til nedenfor.

3.7.1 Faktorer som styrer utvalgets størrelse

Utvalgets størrelse i en undersøkelse av denne typen vil være avhengig av flere faktorer, hvorav de to viktigste er:

- hvor viktig det er å kunne generalisere med tilfredsstillende grad av sikkerhet fra utvalget til populasjonen som utvalget er ment å skulle representere
- hva slags type spørsmål som stilles og hvilke metoder som ønskes benyttet i bearbeidingen av dataene (kvalitative eller kvantitative).

Det viktige for min problemstilling var å få et utvalg som var så stort at det ble mulig å finne spor etter kvalitative forskjeller i elevers tenkning, og aller helst finne spor etter kategorier som gjør det mulig å beskrive elevers alternative forestillinger innen dette området i fysikken.

Dersom det viser seg at en eller flere av oppgavene kan brukes til å lage slike kategorier, vil det være mulig å lage statistikk som viser andelen av elever som havner i de ulike kategoriene. Hvor godt en slik deskriptiv statistikk beskriver populasjonen som utvalget representerer, er avhengig av utvalgets absolutte størrelse, og i enda større grad, utvalgets representativitet (Ary m. fl. 1996, s. 182)

Den øvre begrensningen i et utvalgs størrelse er ikke kun et resultat av testteoretiske vurderinger, men også vurderinger knyttet til oppgavetypen som benyttes og metodene som benyttes i analysearbeidet. Man kan si at det er praktiske begrensende forhold som arbeidsmengden, tid og økonomi, som gir en slik øvre begrensning i antall elever i utvalget. Eksempelvis ble elevenes svar på noen av de åpne oppgavene transkribert uten noen komprimering. Dette var et ganske omfattende arbeid som ikke burde beslaglegge urimelig stor andel av normert studietid. I samråd med veileder ble det derfor antallet fastsatt til minst 200 elever.

3.7.2 Utvelging av elever

Det ble tidlig klart i arbeidet med denne oppgaven at det ikke var hensiktsmessig å ha et rent probabilistisk utvalg. Dette ville innebære at jeg måtte hatt en liste over alle elever med 3FY i landet, og trukket tilfeldig fra denne. Jeg valgte derfor et stratifisert utvalg (Ary m. fl. 1996, s. 177-178) med elever fra alle fylker i landet. Enkelteleven var dessuten en uhensiktsmessig enhet å trekke ut med samme begrunnelse som ovenfor. Jeg valgte heller et gruppeutvalg hvor enheten var 3FY-klassen på en bestemt skole. Resultatet er at antallet elever i hvert stratum ikke nødvendigvis er proporsjonal med størrelsen til stratumet (i dette tilfellet antall elever med 3FY i hvert fylke).

Jeg antok at gjennomsnittlig elevtall i 3FY-klassene var 15 elever. Jeg ønsket som sagt å få inn elevsvar fra hele landet. Med en skole fra hvert fylke, ville jeg få et utvalg på ca. 300. Jeg tok derfor utgangspunkt i Adressebok Skoleverket 97. Denne betraktet jeg som en komplett liste over alle videregående skoler i landet. I denne boken er skolene ordnet etter fylke. Fra hvert fylke ble to skoler trukket ut (for Oslo ble fire skoler tatt med pga dette fylkets relativt store folketall). Denne uttrekningen skjedde ved at jeg hadde lapper med numre fra 1-40. Nummeret som ble trekt ut for hvert enkelt fylke, svarte til den n.te skolen på lista for dette fylket. I tellingen nedover listen ble kun de skoler som sto oppført med allmennfaglig studieretning tatt med. Veldig små skoler (ulike spesialskoler) ble også utelatt. I Finnmark fylke ble dessuten samisk språklige skoler utelatt av innlysende praktiske årsaker.

Den første skolen som ble trukket ut var førstevalg til å bli med i testen. Læreren i 3FY på denne skolen ble kontaktet per telefon 23. eller 24. mars. Dersom læreren stilte seg positiv til å bli med på denne undersøkelsen med sin klasse, ble ikke den andre skolen kontaktet. For de fleste fylkene ble den først uttrukne skolen rekruttert på denne måten. Ikke alle fylker ble representert fordi jeg ikke oppnådde kontakt med de uttrukne skolene (Buskerud og Vest Agder). For Hedmark var elevtallet til den først uttrukne skolen så lavt at jeg valgte å kontakte den andre skolen i tillegg. Den først kontaktede skolen i Østfold var svært usikker i sin respons. Også for dette fylket ble derfor skole nr. 2 kontaktet. Oslo hadde også to skoler med pga dette fylkets størrelse. Det må i denne sammenhengen nevnes at jeg sitter igjen med et inntrykk av at lærerne i fysikk er svært villige til å delta på slike undersøkelser så lenge det ikke medfører tap av mye undervisningstid.

Formelt burde skolenes rektorer først blitt kontaktet. For meg var det ikke tid til å følge denne prosedyren. Elevene i 3. klasse er tradisjonelt ikke tilgjengelige etter medio mai p. g. a eksamensavviklingen. Det var derfor nødvendig å kutte ned på responstiden i forbindelse med rekrutteringen for i det hele tatt å få ut undersøkelsen dette skoleåret. Konsekvensen av å ikke få ut undersøkelsen dette skoleåret ville vært en utsettelse på et år. Dette fordi kvantefysikk er et av de siste temaene som undervises i 3FY. Jeg måtte derfor ha ventet helt til det neste kullet med fysikkelever hadde blitt ferdig med undervisningen i temaet. Jeg fikk rettet litt på dette ved å vedlegge et brev til rektor (se vedlegg 5).

3.8 Gjennomføringen av undersøkelsen

Undersøkelsen ble sendt ut 7. april. Det ble sendt ut et informasjonsskriv til lærerne (vedlegg 4), et spørreskjema til lærerne (vedlegg 3) et brev til rektor hvor jeg blant annet beklaget at den formelle prosedyren ikke ble fulgt og begrunnet hvorfor så ikke skjedde (vedlegg 5), selve spørreskjemaet hvor det også ble gitt noe informasjon til elevene (vedlegg 1) og et løsningsforslag som lærerne kunne dele ut til elevene etter testen dersom det var ønskelig (vedlegg 2).

Det hadde vært ønskelig å reise ut til skolene selv for å administrere testen. Dette ville ha sikret like rammebetingelser, og det ville gjort det mulig for elevene å stille spørsmål til selve gjennomføringen av testen. Informasjonsskrivet til lærerne hadde bl. a. som intensjon å sikre en noenlunde lik gjennomføring. Dessuten skulle lærerne gi litt tilbakemelding om gjennomføringen i sine spørreskjema.

Ved å reise ut selv ville jeg få en kontrollert svarprosent. Selv om lærerne muntlig hadde bekreftet at de ville delta, var ikke dette en garanti for å få en god respons. Av praktiske og økonomiske årsaker var det umulig for meg å reise ut til skolene for å administrere testen egenhendig. Jeg valgte derfor å motivere lærerne på to måter. For det første har oppgavene

som sagt, blitt laget med tanke på undervisningen i dette temaet. Dette er begrunnelsen for at det ble sendt ut et løsningsforslag (vedlegg 2) hvor hensikten var å gi en slags oppsummering av dette emnet. På denne måten håper jeg å ha oppnådd at lærerne ikke ser på gjennomføringen av testen som bortkastet tid, men heller som en del av undervisningsforløpet i emnet. Den andre gulroten jeg ga lærerne, var at dersom de deltok, ville de få tilsendt en kortversjon av hovedfagsoppgaven hvor jeg oppsummerer de viktigste funnene og hvilke konsekvenser dette har for undervisningen i faget. Dette siste oppfattet jeg at flere av lærerne satte pris på. Jeg hadde derfor et håp om å få svar fra langt de fleste. Dette er også etter min mening en ønskelig måte å drive forskningsformidling på. Jeg har derfor inkludert denne rapporten som et eget vedlegg i denne oppgaven (vedlegg 8). Jeg kommenterer dette vedlegget noe nærmere i kap. 3.10.

Undersøkelsen ble gjennomført på de ulike skolene når det passet lærerne. Svarene kom tilbake i perioden 14. april – 1. juni. 27. april kontaktet jeg lærerne for de skolene som ikke hadde svart for å kartlegge hvorvidt jeg kunne forvente å få dette. Dette ble en positiv oppfølging som jeg antar hadde en positiv effekt på responsen.

Responsen var god. Kun en skole lot være å svare. Årsaken til dette var at det i denne klassen var en elev som nektet å være med fordi han ikke synes forsikringen om anonymitet var god nok (vedlegg 6). Det var dessuten enkelte klasser som ikke var fulltallige av ulike årsaker. Det ble sendt ut 284 spørreskjema og 236 elever svarte. Av disse var 60 jenter og 176 gutter.

Til tross for at utvalget ikke tilfredsstiller kriteriene til et statistisk representativt utvalg, vil jeg anta at det fanger opp sentrale trekk i populasjonen som helhet. I kapittel 4.1 søker jeg å finne noen indikatorer på dette. Jeg vil imidlertid påpeke at det ikke er en hovedmålsetting for meg å gi en kvantitativ beskrivelse som kan generaliseres til populasjonen som helhet.

3.9 Bearbeiding og analyse

I analysen har jeg brukt programmet SPSS 8.0, et statistikkprogram som har mange av de konvensjonelle statistiske metodene implementert som ferdige funksjoner. På denne måten er det svært enkelt å få laget frekvenstabeller, få beregnet gjennomsnitt og standardavvik eller få gjennomført større analyser. Ved bruk av dette verktøyet (og andre statistikkprogrammer) blir elevenes svar representert ved hjelp av koder som tastes inn i et regneark.

Jeg presenterer mesteparten av disse dataene i form av frekvenstabeller og/eller ulike diagrammer. Dette er for det meste en konsekvens av at dataene mine for en stor del er nominale. Dette medfører at de tallene som benyttes i kodingen av innholdet i svarene, kun har som funksjon å skille mellom ulike kategorier.

3.9.2 Korrekthetsanalyse

Jeg har behandlet alle oppgavene langs en **riktig-gal-dimensjon**. Dette er gjort først og fremst for å sjekke om testen som helhet har en indre konsistens. Dette antyder i så fall eksistensen av et underliggende construct. Dette er også gjort for å se om det er en sammenheng mellom skåre på hele testen, og andre bakgrunnsvariablene.

Disse variablene er intervall data. Dette betyr at tallene har en betydning utover det å skille elever i ulike kategorier. Det er mulig å rangere elevene ut fra disse dataene. En intervall skala har en egenskap til, nemlig at avstanden mellom punktene på skalaen antas å være meningsfull. Det vil si at man kan summere tall på slike skalaer. Det alt dette betyr, er at for disse variablene er de aller fleste statistiske funksjoner og prosedyrer anvendelige. Man kan f.

eks. regne ut gjennomsnitt og standardavvik, noe som ikke er mulig for innholdsvariablene som er nominale.

I denne analysen brukes som sagt **Cronbach α** som et mål på reliabiliteten knyttet til oppgaveutvalget (se kap. 3.1.2).

Resultatene presenteres typisk som **gjennomsnittsverdier**.

Jeg har for å avgjøre om oppgavene diskriminerer godt delt elevene inn i ulike **skåregrupper** (se kap. 4.8.3).

Det blir foretatt analyser av gjennomsnittet til ulike grupper av elever. Grupperingene som gjøres er ofte med hensyn til kjønn og skåregruppe. Når man sammenlikner ulike gruppers gjennomsnitt, vil man kunne se at gjennomsnittet er ulikt for gruppene. Denne forskjellen kan imidlertid skyldes tilfeldigheter. Særlig dersom gruppene er små, vil det kunne forekomme betydelige variasjoner i dette gjennomsnittet. Man kan imidlertid gjøre tester som avgjør om denne differansen i gjennomsnittsverdi, skyldes tilfeldigheter, eller om de med en viss sannsynlighet kan sies å representere en reell forskjell. Jeg har brukt **t-test** for uavhengige utvalg for å sammenlikne middelerverdien til ulike skåregrupper og forskjeller mellom gutter og jenter. Dersom man med 95% sannsynlighet kan si at differansen er reell, har jeg karakterisert forskjellen som **signifikant**. Mer teknisk sier vi da at forskjellen er signifikant innenfor et 95% konfidensintervall.

Jeg benytter også en annen måte for å presentere gjennomsnittsverdier til ulike grupper, nemlig «**error-bar-plott**». Når man sammenlikner middelerverdien til to ulike grupper, beregner man et feilintervall for denne middelerverdien. Dette feilintervallet kalles for **standardavviket til gjennomsnittet**. Dersom man plotter middelerverdiene inn i et koordinatsystem med et feilintervall på pluss/minus to standardfeil, tegner man samtidig et intervall som representerer et 95% konfidensintervall. Dersom de to middelerverdienes intervaller ikke har noen verdier felles, kan vi slå fast at forskjellen er signifikant.

I disse analysene hvor jeg prøver å slutte fra utvalget til populasjonen som helhet, er det en innebygd feil. De metodene som anvendes forutsetter at utvalget er strengt representativt med helt uavhengige individer. Dette utvalget tilfredsstiller ikke disse kravene (se kap. 3.7.2). Feil som skyldes at utvalget ikke er representativt, er derfor mer sannsynlige enn det jeg rapporterer i disse analysene. Slutninger fra utvalget til populasjonen som helhet kan derfor ikke foretas med stor grad av sikkerhet.

En slik korrekthetsanalyse var ikke prioritert ved utformingen av oppgavene som ble brukt i testen. Man må derfor forvente at noen av oppgavene ikke fungerer like godt i en slik analyse.

3.9.3 Innholdsanalyse

Flere av de åpne oppgavene har blitt gitt koder som fanger opp deler av innholdet/formen i besvarelsene. Dannelsen av slike innholdskategorier har det blitt gjort rede for generelt i kap. 3.2.1, og en mer spesiell redegjørelse blir gjort når oppgavene og resultatene presenteres og drøftes i kapittel 4. Disse kategoriene er som sagt kodet med tall som er av nominalt format, og den kvantitative delen av analysen begrenser seg til å utarbeide frekvenstabeller og noen krystabeller som antyder sammenhengen mellom to variable.

Denne innholdsanalysen utgjør hoveddelen i mitt arbeid med problemstillingens underpunkt a-f (se kap. 1.2.1)

3.9.4 Analyse av læreplanene

En analyse av læreplaner i fysikk, kan være utgangspunkt for mange interessante hovedfagsoppgaver i seg selv. I denne oppgaven gis det imidlertid kun en enkel beskrivelse basert på innholdet i læreplanene i perioden 1964-1996. Denne beskrivelsen vil forhåpentligvis gi et historisk perspektiv over hvilken status kvantefysikken har hatt i norsk skole. 1964 er valgt som begynnelsestidspunkt fordi denne planen er den første i Norge etter det såkalte Sputnik-sjokket i 1957 og starten på det som gjerne kalles for en reformbevegelse innen naturfagundervisningen (Kind 1989).

Hovedvekten i denne analysen legges på dagens læreplan og forløperen til denne.

3.9.5 Analyse av læreverkene

Det gis kun en enkel beskrivelse av læreverkene. Denne beskrivelsen foretas ved å stille noen grunnleggende spørsmål:

1. Hvor stor andel av lærebøkene i 3FY vies til kvantefysikk?
2. Hvilket innhold har de ulike læreverkene lagt i læreplanens mål 6, hovedmoment 6g:
«Elevene skal kunne gi eksempler på hvordan kvantefysikken bryter med våre hverdagsforestillinger».

3.10 Formidling av oppgaven

Jeg har som sagt tidligere, utarbeidet en kortversjon av denne oppgaven. Denne får lærerne som deltok i undersøkelsen, tilsendt i disse dager. Den er inkludert som vedlegg 8 i denne oppgaven. Hensikten med å sende ut denne kortversjonen har som sagt vært å motivere til deltagelse på undersøkelsen. Den viktigste grunnen til at jeg valgte å gjøre dette, er imidlertid knyttet til en «forskningsetisk» grunnholdning. Når man har deltatt på en undersøkelse, fortjener man å få vite hva undersøkelsen til slutt ble brukt til. En slik rapport vil vise deltagerne at deres bidrag var nyttig, samt at det vil vise at mine garantier om full anonymitet ble oppfylt. Jeg håper også at foruten å motivere de deltagende skolene til å delta på denne konkrete undersøkelse, vil dette bidra til at man også ved senere anledninger er villige til å delta. På denne måten vil både forskeren og de deltagende lærerne forhåpentligvis innse at man har et symbiotisk avhengighetsforhold til hverandre.

I utarbeidningen av denne kortversjonen har jeg valgt å fjerne henvisninger til referanser. Der det har vært helt nødvendig, er navn og kilder nevnt direkte i teksten. Istedet har jeg valgt å legge til et kapittel med anbefalinger om videre lesning og nyttige ressurser på internet. Jeg valgte også å fjerne den delen av teorien som oppsummerte annen forskning på området. Metodekapitlet er i sin helhet utelatt. To av oppgavene som ble brukt fra TIMSS, kunne ikke siteres. Disse er derfor kun indirekte omtalt. Det er mitt håp at disse endringene sammen med små justeringer av språk enkelte steder, har ført til at denne kortversjonen av hovedfaget er lesevennlig.

Mitt ønske er at denne rapporten skal bli distribuert til flere enn de 20 lærerne som deltok på undersøkelsen. I Norge eksisterer det dessverre få kommunikasjonskanaler for slik formidling. Man hadde tidligere en egen skriftserie ved Universitetet i Oslo for formidling av realfagdidaktisk forskning, «Skrifter for realfagundervisning». Denne eksisterer ikke lenger. TIMSS har imidlertid en egen skriftserie. Noen av disse er rene interne arbeidsdokumenter, mens andre er oppsummeringer/rapporter som er skrevet med bakgrunn i de undersøkelser

som er foretatt. Min kortversjon vil bli gitt ut som en rapport i denne serien og sendt til alle skoler som deltok i TIMSS. Det vil dermed også være mulig å legge ut en skrivervennlig versjon av denne på TIMSS sin norske hjemmeside.

Jeg har også som målsetning å skrive en eller flere artikler basert på denne oppgaven i «Fra fysikkens verden», et tidsskrift som også når ut til mange lærere. Fordelen med å skrive her er at det vil kunne føre til en dialog/debatt som jeg tror kan være fruktbar.

Jeg har også ambisjoner om å få utarbeidet en artikkelversjon som kan bli publisert i et av de internasjonale tidsskriftene i realfagdidaktikk. I denne forbindelsen kan jeg nevne at jeg allerede har presentert foreløpige resultater på et nordisk forskersymposium i Joensuu i Finland (Olsen 1999).

4 Resultater og drøftinger

Jeg vil i dette kapitlet oppsummere resultatene fra denne undersøkelsen. I tillegg gir jeg her en konkret drøfting av oppgavetekstene og valg av oppgaveformater. Dette har jeg berørt generelt i kapitlene 3.2 og 3.5. Det gis for hver oppgave også en drøfting i lys av den teori som er etablert i kap. 2. For de oppgavene som var med i TIMSS-testen og generalprøven til denne, har jeg også tatt med resultatene fra disse undersøkelsene for å belyse noen endringer som kan ha skjedd etter innføring av ny læreplan i faget. Noen av oppgavene vil også bli drøftet i sammenheng med hverandre. Enkelte steder refereres det til min egen undersøkelse som RVO99 (denne forkortelsen refererer til mine initialer og ikke en forhenværende organisasjon som skolefolk umiddelbart tenker på).

Innledningsvis presenteres bakgrunnsvariablene som gir oss informasjon om utvalgets sammensetning, hvordan elevene ser på denne delen av fysikkfaget sammenliknet med resten av fysikkfaget og noe informasjon om gjennomføringen av undervisningen i klassene som deltok (kap. 4.1 - 4.3). Deretter blir det foretatt en innholdsanalyse av alle oppgavene hver for seg. Dette er hoveddelen i min behandling av undersøkelsen (kap. 4.4 - 4.7). Til sist blir korrekthetsanalysen av hele testen vurdert samlet (kap. 4.8).

4.1 Bakgrunnsinformasjon

Jeg presenterer her kort resultatene for de spørsmålene som brukes for å lage en profil over bakgrunnsvariablene kjønn, læreverk og karakter i 1. termin (spørsmål 1 - 3 i undersøkelsen, se vedlegg 1), samt opplysninger som kan karakterisere undervisningen av kvantefysikk slik det kommer fram av lærerspørreskjemaet (spørsmål 5 - 9, se vedlegg 3). Jeg ser også på elevenes syn på denne delen av fysikkfaget (spørsmål 13 - 16 i undersøkelsen, se vedlegg 1)

4.1.1 Kjønnsfordeling og karakter til 1. termin.

Jenteandelen i dette utvalget er på 25%. Denne er svært lik andelen fra TIMSS-undersøkelsen. Det finnes ikke tilgjengelig utdanningsstatistikk for skoleåret 98/99, og jeg kan derfor ikke sammenlikne denne jenteandelen med populasjonen som helhet.

Gjennomsnittskarakteren i 1. termin var for utvalget i min test 3,6. Dette er identisk med gjennomsnittskarakteren i TIMSS-testens utvalg (Angell 96).

For noen av oppgavene sammenlikner jeg resultatene fra RVO99 med resultatene fra TIMSS. Det er derfor nødvendig å reflektere over hvor relevant en slik sammenlikning er. Man kan for det første ikke anta at populasjonen som utvalget til TIMSS ble trukket fra, tilsvarer populasjonen som mitt utvalg er hentet fra. Det har f. eks. skjedd tekniske endringer som sannsynligvis virker inn på hvem som velger de ulike fagene. Jeg tenker her spesielt på de ekstra fordypningspoengene som gis for realfag. Hvordan dette har slått ut vet man ikke så mye om. Det kan imidlertid virke som om det ikke er fysikkfaget som først og fremst har tjent på dette. Totalandelen av elever på allmennfaglig studieretning som velger fysikk, synes å være noenlunde den samme.

Det neste man må vurdere, er hvorvidt utvalgene var representative for hver sine populasjoner. Jeg har i kap. 3.7.2 gjort rede for hvordan utvalget til RVO99 ble hentet fra populasjonen. Jeg slår derfor her kun fast at utvalget ikke tilfredsstiller strenge krav til

representativitet, men det er et probabilistisk utvalg stratifisert i forhold til fylker og med skole som utvalgsenhet.

Det jeg imidlertid er mest opptatt av, er at fysikkfagene som disse elevene har gjennomført, ikke er de samme fagene. Det har i mellomtiden kommet en ny læreplan. Dette er svært interessant med tanke på kvantefysikken fordi noe har nesten ikke endret seg (eksempelvis fotoelektrisk effekt), mens andre elementer av kvantefysikken er helt endret (eksempelvis Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner som ikke nevnes direkte i planen lenger) (se kap. 2.2.3).

Sammenlikninger mellom RVO99 og TIMSS og forsøkstesten til TIMSS i 1993 vil derfor bli gjort. Av det som nevnes ovenfor, ser man at det vil være vanskelig å fastslå hvorvidt eventuelle forskjeller er signifikante. Jeg vil derfor ikke kommentere små forskjeller. Er det derimot store endringer, vil jeg tillate meg å spekulere i om disse er reelle.

Vi har ovenfor sett at kjønnsandelen og gjennomsnittskarakteren til 1. termin er like for TIMSS og RVO99. Dette er i det minste en svak indikasjon på at utvalgene er sammenlignbare.

Jeg vil senere, i de avsnittene som omtaler hver av oppgavene, drøfte enkeltoppgaver i forhold til kjønn. Dersom dette ikke i noen av disse avsnittene ikke blir gjort, betyr det at kjønnsforskjellene var ubetydelige. Det er imidlertid verdt å merke seg allerede nå at det generelt ikke eksisterer store eller signifikante forskjeller mellom kjønnene på denne testen.

Figur 4.1 viser en forskjell som kan sies å være både stor og signifikant, nemlig gjennomsnittskarakterene til 1. termin for henholdsvis jenter og gutter. Selv om gjennomsnittskarakteren totalt er ca. på samme nivå som i TIMSS, viser denne figuren at

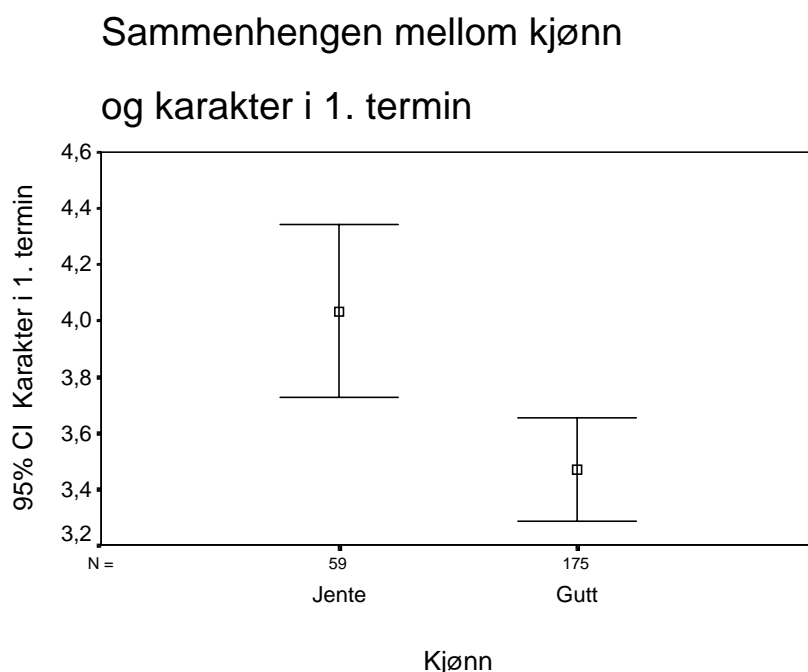


Fig 4.1: Sammenhengen mellom karakter i 1. termin og kjønn. Figuren viser middelerdien for henholdsvis gutter og jenter, med et intervall som representerer et 95% konfidensintervall. $N = 234$.

jentenes karakterer er betydelig bedre enn guttenes karakterer, og denne forskjellen er signifikant innenfor et 95% konfidensintervall. I TIMSS-undersøkelsen fant man ikke en tilsvarende signifikant forskjell, men også her hadde jentene bedre karakter enn guttene til 1. termin (men forskjellen var veldig liten) (Angell m. fl. 1999). I TIMSS fant man imidlertid at

guttene skåret signifikant bedre på testen. I min undersøkelse er det ingen signifikante forskjeller mellom jenter og gutter på totalskåre (se kap. 4.8).

Denne tilsynelatende signifikante forskjellen kan skyldes det som er diskutert ovenfor og i kap. 3.7.2, nemlig at utvalget ikke er representativt.

Den relativt store forskjellen gjør imidlertid at jeg vil si at funnet er interessant, og det kan være nødvendig å undersøke dette nærmere i egne tilrettelagte studier.

4.1.3 Bruk av læreverker

Ved innføringen av nye læreverker har det blitt rapportert en endring i verkenes relative markedsandel. I de senere årene har tre forlag utgitt bøker til fysikkfagene i videregående skole. Cappelen har hatt størst markedsdekning i årene før den nye læreplanen trådte i kraft, med sitt læreverker «Rom, Stoff, Tid», heretter omtalt som RST (Jerstad m. fl. 1998). Aschehoug har vært en god nummer to med sitt læreverker Ergo (Callin m. fl. 1998). Det tredje læreverket utgitt av NKI-forlaget, har hatt en mindre andel av markedet (Ekern m. fl. 1998).⁸

Ved innføringen av den nye læreplanen har alle læreverkene blitt grundig revidert. Denne revisjonen har vært så gjennomgripende at det er snakk om helt nye læreverker. Dette viser seg også i form av at gamle forfattere er erstattet av nye, og et forlag, NKI-forlaget, har skiftet tittel for ytterligere å markere at det er en ny bok.

Tabell 4.1 nedenfor viser fordelingen av læreverker som benyttes i utvalget i min test.

Forlag	Andel RVO99	Andel TIMSS
Cappelen	33	63
Aschehoug	59	23
NKI	8	14

Tabell 4.1: Prosentvis andel av læreverker som brukes av klassene som deltok i undersøkelsen.

Jeg kjenner ikke eksakte tall bakover i tid, men RST har vært det dominerende læreverket i fysikk siden 70-tallet en gang. Dette er ikke et tema jeg drøfter nærmere her, men dette faktumet illustrerer at det kan skje store endringer, på den ene eller andre måten, når man endrer læreplanen i et fag. Gamle tradisjoner føres ikke automatisk videre! Andelen som rapporteres fra min egen undersøkelse kan avvike mye fra det reelle tallet fordi hele klasser bruker samme lærebok⁹. Med bare 20 klasser i undersøkelsen er usikkerheten knyttet til disse tallene store. Det er imidlertid mitt inntrykk at tendensene er som tabellen viser.

4.2 Elevers syn på kvantefysikk

Elevene ble til slutt i testen spurt om sitt forhold til kvantefysikken. Spørsmålsformuleringene (spørsmål 13 - 16, se vedlegg 1) var slik at elevene skulle ta stilling til kvantefysikken i forhold til resten av faget. Dette innebærer at man skal være forsiktig når man tolker elevenes svar. Det kan faktisk tenkes at en elev som misliker alle deler av fysikkfaget ganske sterkt, vil

⁸ Referansene viser til dagens lærebøker.

⁹ R94 åpner i større grad for at man kan ha ulike læreverker i samme klasse. En slik utvikling er etter min mening ønskelig fordi de ulike læreverkene har ulike styrker og svakheter. Dette kan utnyttes i et klasserom hvor alle læreverkene er representert. På denne måten vil det også i større grad bli synliggjort at det er læreplanen som definerer «pensum».

svare at kvantefysikken er mer spennende enn resten av faget. Motsatt kan en elev som synes kvantefysikken har vært relativt spennende, svare at for ham var denne delen av faget like spennende, eller kanskje mindre spennende, enn resten av faget.

Denne formuleringen ble imidlertid valgt fordi jeg er av den mening at alle vurderer noe som spennende, nyttig etc., i forhold til noe annet. Jeg ønsket å etablere at dette skulle ses i forhold til faget som helhet, og ikke i forhold til f. eks. andre fag eller fritidsaktiviteter. Elevene kunne foreta en slik sammenlikning fordi de hadde vært gjennom det meste av 3FY på det tidspunktet de svarte.

Elevene ble altså spurt om å vurdere i hvilken grad de syntes kvantefysikken var spennende, nyttig eller vanskelig i forhold til resten av faget. De ble også spurt om de kunne tenke seg et fysikkurs med mer eller mindre kvantefysikk i forhold til resten av faget.

Elevene fikk tre alternativer, ett negativt ladet, ett nøytralt og ett positivt.

	Spenningsgrad	Nyttegrad	Vanskegrad	Mengde
Negativ	25	26	13	20
Nøytral	51	62	49	63
Positiv	20	8	35	13
Ikke svart	3	4	3	4

Tabell 4.2: Tabellen viser prosentvis fordeling på spørsmål knyttet til elevers forhold til denne delen av faget (se spørsmål 13 - 16, vedlegg 1).

Vanskegraden passer ikke helt inn i tabell 4.2 ovenfor. De 13% som har blitt plassert under negativ, representerer de elever som synes kvantefysikken har vært en av de mindre vanskelig delene i faget, mens de som havner på positiv for denne variabelen er de som synes kvantefysikken har vært ett av de vanskeligste temaene i 3FY. Spørsmålet om vanskegrad passer ikke helt med de andre fordi det ikke berører holdningen til faget.

Tabellen viser oss at det for alle spørsmålene var en stor gruppe elever, ca. halvparten eller mer, som syntes at kvantefysikken ikke skilte seg vesentlig fra resten av faget på disse punktene. Vi ser imidlertid en svak tendens til at kvantefysikken oppfattes som mindre nyttig og noe vanskeligere enn resten av fysikkfaget.

I kodingen av disse spørsmålene ble det negative alternativet kodet med 0, det nøytrale med 1 og det positive med 2. Jeg summerte disse poengene for de tre spørsmålene spenningsgrad, nyttegrad og mengde. Dette gir en skala fra 0 (svært negativ holdning) til 6 (svært positiv holdning). En poengsum rundt 3 kan i denne skalaen tolkes som en nøytral holdning. For de elevene som ikke hadde svart på ett eller flere av spørsmålene ble det ikke regnet ut en sum. Disse behandles derfor som såkalte «missing values», dvs si at programmet som ble benyttet (SPSS 8.0) ikke tar med disse elevenes svar når det blir gjort analyser hvor denne variabelen inngår.

Gjennomsnittsverdien for en slik holdningsindikator var på 2,7, altså en nøytral holdning. Det var liten forskjell mellom gutters og jenters holdninger, og denne var ikke signifikant. Det var heller ingen påviselig sammenheng mellom holdningen og antallet timer som hadde blitt brukt til undervisning i kvantefysikk, eller holdning og karakter i 1. termin.

For å undersøke hvorvidt disse fire variablene kunne sies å måle det samme, nemlig holdning til faget, foretok jeg en korrelasjonsanalyse. I denne analysen ble alle de som ikke hadde svart, behandlet som 'missing value'. Denne analysen viser at de tre faktorene som jeg tidligere har

antatt måler holdning til faget (spenning, nytte og mengde), korrelerte svakt positivt (ca. 0,3 på alle korrelasjonene) og denne korrelasjonen var signifikant med et konfidensintervall på 95% eller høyere.

Jeg beregnet også Cronbach α for de tre variablene spenning, nytte og mengde. Denne var på 0,54. Alle variablene bidro positivt ved beregningen av denne koeffisienten. Min vurdering av dette tallet er at det er overraskende høyt med tanke på at den er beregnet på grunnlag av bare tre variabler.

Vi kan derfor konkludere med at denne summen til en viss grad representerer constructet «holdning til kvantefysikk». Spørreskjemaet burde imidlertid hatt flere spørsmål som man kan anta er med på å måle en holdning til temaet. Man burde dessuten prøvd ut hvordan effekten hadde vært dersom man hadde formulert spørsmålene slik at elevene hadde svart på en mer absolutt skala, dvs en skala hvor elevene skulle tatt stilling til de ulike aspektene uten å relatere det til andre deler i fysikkfaget. Dessuten kunne det tenkes at en bedre måte å måle holdning på er at elevene i større grad skulle tatt stilling til mer kontekstualiserte påstander som f. eks. «kvantefysikk er nyttig fordi det kan hjelpe oss til å utvikle raskere datamaskiner» eller «kvantemekanikk er unyttig fordi det ikke kan brukes til noe i dagliglivet».

Den fjerde faktoren, vanskegraden, korrelerte svakt negativt med alle de tre andre variablene. Disse korrelasjonene var også tilsvarende signifikante. Denne variabelen bidro imidlertid ikke til å få en Cronbach α med høyere verdi. Vi kan oppsummert si at dette viser at de elever som oppfatter kvantefysikken som litt lettere enn resten av faget, i større grad også har en positiv holdning til emnet.

4.3 Noen resultater fra lærerspørreskjemaet

Jeg vil her kortfattet presentere noen resultater fra de spørsmålene i lærerspørreskjemaet som gir grunnlag for en enkel karakterisering av undervisningen i kvantefysikk. Jeg velger å vente til kapittel 4.8 med en drøfting av i hvilken grad disse faktorene virker inn på hvordan elevene presterer på testen. Selv om læreren ble spurt om disse spørsmålene, ble dataene lagt inn for hver enkelt elev. Dette ble gjort for å muliggjøre analyser av sammenhengen mellom variabler fra lærerens svar og variabler fra elevspørreskjemaene. Det er viktig å være klar over at i disse analysene vil statistikkprogrammet oppfatte at utvalgets størrelse er lik antall elever ($N = 236$), mens det i virkeligheten er likt antall lærere/klasser ($N = 20$).

4.3.1 Antall timer brukt til undervisning i kvantefysikk

Resultatene viser at det er stor variasjon i antall timer som brukes til undervisning i denne delen av fysikkfaget. Vi ser av tabell 4.3 nedenfor at det spenner mellom 4 og 20 timer, med et gjennomsnitt på ca. 11 timer. Lærerne ble i spørsmålet (se vedlegg 3) bedt om å antyde hvor mange timer de har brukt eller kommer til å bruke på dette emnet. De ble dessuten bedt om å gjennomføre testen etter at undervisningen i emnet var avsluttet (se instruks til lærer, vedlegg 4). Jeg vil derfor anta at disse tallene representerer det endelige timetallet som ble brukt.

Gjennomsnitt	Standardavvik	Min.	Maks.
11,3	4,4	4	20

Tabell 4.3: En oversikt over timetall brukt til undervisning i kvantefysikk, $N=20$.

Et kurs i 3FY er definert å være på 185 undervisningstimer. Basert på min egen erfaring vil jeg anta at det reelle tallet vil ligge mellom 120-130 timer. Kvantefysikken kan i såfall sies å

utgjøre mindre enn 10% av fysikkurset. Denne spredningen i undervisningstid viser at lærere erfarer at læreplanen gir et relativt stort handlingsrom. Det kan også tenkes at man i ytterkant av en slik spredning ser konturene av det fenomenet som ble nevnt i kap. 2.2.6, nemlig at lærerne er svært delt i sitt syn på hvilken posisjon kvantefysikkens bør ha i skolefysikken. Noen mener kvantefysikken bør reduseres til fordel for basiskunnskaper i klassisk fysikk, mens andre synes kvantefysikken er en helt selvskreven del av et fysikkfag begrunnet ut fra et kulturelt og allmenndannende perspektiv.

4.3.2 Elevforsøk og lærerdemonstrasjoner

Det har eksistert en bekymring i deler av lærerkollegiet fordi spesifiseringen av antall timer som skal brukes til elevforsøk i løpet av skoleåret falt bort med den nye planen i faget. Tabell 4.4 viser at ca. 40% av elevene har gjort ett eller flere elevforsøk knyttet til kvantefysikken. Det er umulig å si noe om det har skjedd en endring med innføringen av den nye planen, men nok en gang viser dette at lærerne oppfatter et handlingsrom i forbindelse med læreplanen.

	Elevforsøk	Lærerdemo
Måling av h ved hjelp av fotocelle eller forsøk med elektroscop	25	36
Interferens av elektroner vha teltron-rør	6	16
Både h og teltron	8	
Ikke gjort forsøk tilknyttet kvantefysikk	39	27
Ikke svart	21	21

Tabell 4.4: Prosentvis fordeling for elevforsøk og lærerdemonstrasjoner. Prosentene viser andel av elever, ikke andel av lærere (selv om det altså var lærerne som ble spurt om dette).

Temaet kvantefysikk, slik det er i dagens skole, gir generelt lite rom for eksperimentelt arbeid. Tabell 4.5 viser at ca. en fjerdedel av elevene verken har gjort forsøk eller har fått demonstrert fenomener knyttet til undervisningen i kvantefysikk. Lie og Sletbak (1987) viste i sin undersøkelse av læreres syn på faget (se kap. 2.2.6) at dette var en av hovedbegrunnelsene for å redusere denne delen av pensum. Fysikk som ikke involverer noe eksperimentelt/praktisk oppfattes altså av noen lærere som mindre egnet fysikk. Vi kan si at disse lærerne oppfatter at skolefysikken skal forholde seg til Harrés område 1 og 2 som omfatter de deler av virkeligheten som kan observeres, med eller uten tekniske hjelpemidler (se kap. 2.2.1).

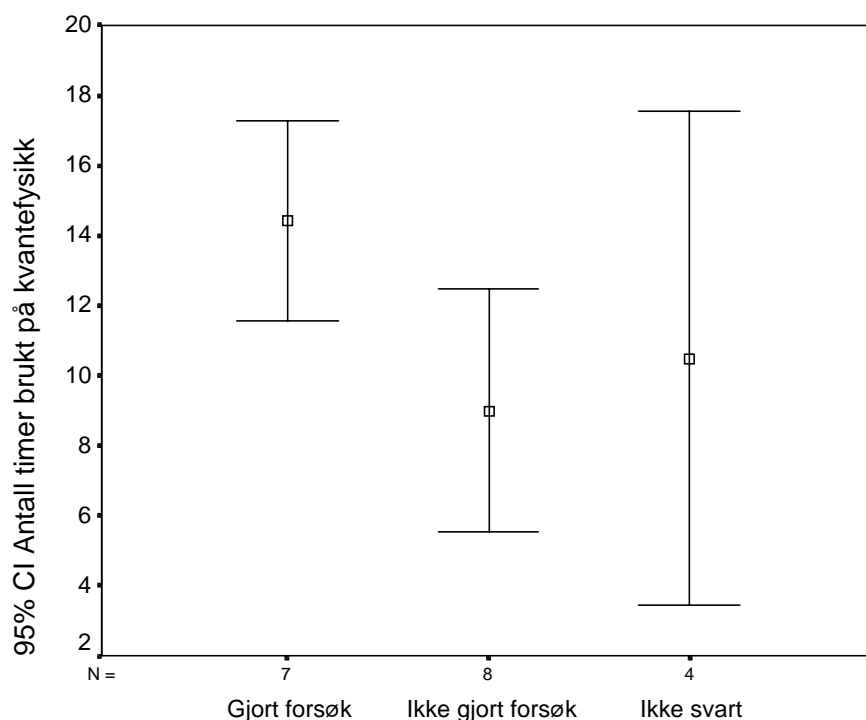
	Har gjort demo	Har ikke gjort demo	Totalt
Har gjort forsøk	25,8%	14,0%	39,8%
Har ikke gjort forsøk	26,7%	12,7%	39,4%
Totalt	52,5%	26,7%	

Tabell 4.5: Krysstabell som viser sammenhengen mellom demonstrasjoner utført og elevforsøk som er gjort. Den gruppen som mangler her, svarer til de 20,8% som ikke svarte på spørsmålene. Prosentene viser andel av elever i de ulike kategoriene.

Forsøkene som gjøres, er imidlertid ikke uproblematisk. I forsøket hvor man benytter en spesiell fotocelle for å estimere Plancks konstant får elevene verdier i riktig størrelsesorden, men den er ca. halvparten av tabellverdien, og forsøket med teltronrør er egentlig ikke egnet

som elevforsøk fordi det involverer bruk av høyspenning. Dette kan delvis forklare den relativt store andelen lærere som ikke benytter elevforsøk i denne delen av fysikkfaget.

Det er forøvrig en klar sammenheng mellom antall timer som brukes og utførelse av elevforsøk. Det viser seg at de klasser som har gjort minst ett slik elevforsøk, også har brukt adskillig mer tid på denne delen av faget (se figur 4.2). Denne sammenhengen er til en viss grad naturlig fordi det å gjøre forsøk krever bruk av noe tid, men vi ser at forskjellen er på hele 5 undervisningstimer. Dette viser muligens at de lærere som gir prioritet til kvantefysikken, også ser nytten av at elevene utfører forsøk innen temaet.



Figur 4.2: Sammenhengen mellom bruk av elevforsøk og antall timer som er brukt. Her er klassen brukt som enhet.

Det er ikke mulig foreløpig å trekke sikre konklusjoner på grunnlag av denne enkle beskrivelsen. Vi ser imidlertid konturene av et fenomen i tabell 4.5: En gruppe elever får et tilbud preget av få undervisningstimer og ingen eller liten bruk av eksperimentell arbeidsmetode, mens en annen gruppe får et tilbud preget av at kvantefysikken gis prioritet. Det er mulig vi her ser et konkret resultat av den polariseringen blant lærere som vi drøftet i kap. 2.2.6.

Det har blitt prøvd ut alternative innføringskurs i kvantefysikk som i stor grad baserer seg på utførelsen av elevforsøk (Rebello m. fl. 1999, Zollman 1997, Lawrence 1996). For en del lærere kan det hende at en slik innfallsvinkel til kvantefysikken oppfattes som gunstig. Vi tar opp igjen denne tråden i kap. 5.

4.4 Fotoelektrisk effekt

De tre oppgavene som ble brukt for å teste elevenes forståelse av fotoelektrisk effekt, var alle tatt fra TIMSS-testen. Emnet fotoelektrisk effekt har en sterk posisjon i «skolefysikken». Læreplanen har som vist i kapittel 2.2.3 en relativt detaljert målstyring med to

hovedmomenter som presiserer de kunnskapene som elevene forventes å inneha etter endt undervisning.

Jeg presenterer her de tre oppgavene i hvert sitt delkapittel. Oppgaveteksten tas med i sin helhet for å gjøre det lettere for leseren. Jeg beskriver resultatene ved hjelp av relativt enkle tabeller og gir en kort drøfting av oppgaveteksten og resultatene.

Generelt kan det sies om de fleste flervalgsoppgavene i TIMSS, at distraktorene er konstruert med tanke på velkjente alternative forestillinger. For fotoelektrisk effekt er dette ikke velkjent (jfr. kap. 2.3.5). Distraktorene i de to flervalgsoppgavene, oppgave 6 og 8, bærer derfor preg av denne mangelen på kunnskap. Distraktorene er alternativer som ikke nødvendigvis gir diagnostisk informasjon.

4.4.1 Oppgave 6

Oppgaven var som følger:

6. Ved fotoelektrisk effekt er den kinetiske energien til et emittert elektron mindre enn energien til fotonet fordi:

Sett en ring rundt én bokstav

- A. fotonenergien ikke blir fullstendig absorbert.
 - B. frekvensen til fotonet ikke var større enn grensefrekvensen
 - C. elektronet er svært sterkt bundet til atomet.
 - D. elektronet mister litt energi når det frigjør seg fra overflata.
-

Tabellen nedenfor viser resultatene for elevene i min undersøkelse og for elevene som var med i TIMSS-undersøkelsen (oppg. F7).

	RVO99	TIMSS
A	14	11
B	10	9
C	12	10
D*	59	70
Ikke svart	5	0

Tabell 4.6: Prosentvis fordeling for de ulike alternativene på oppgave 6 i min egen undersøkelse og oppgave F7 i TIMSS.

Vi ser at fordelingen på de ulike distraktorene er nokså lik for de to utvalgene. Det er en liten, men ikke signifikant, tilbakegang for det korrekte svaret, Alt D.

Den vanligste distraktoren, alt. A, må kunne sies å være en grunnleggende feilaktig formulering. Vår tolkning av dette fenomenet baserer seg på det motsatte, nemlig at hele fotonet absorberes av ett enkelt elektron som så blir løsrevet. Det er vanskelig ut fra dette å si noe om hvordan elever som har valgt denne distraktoren, har tenkt. Det kan skyldes gjetting. Denne gjettingen kan være mer eller mindre styrt av at distraktoren jo inneholder en formulering som kan minne om noe som er sentralt i tolkningen, nemlig at hele fotonenergien blir absorbert. Det kan også tenkes at distraktoren fanger opp en «ekte» alternativ forestilling som skyldes at elevene har et ufullstendig energibegrep.

Distraktor C inneholder etter min mening mye riktig og relevant informasjon. Det er muligens feil å si at elektronet er **svært** sterkt bundet, men det er vanskelig å se at denne distraktoren kan fange opp en alternativ forestilling. I TIMSS skulle flervalgsoppgavene kun inneholde ett korrekt svar. Denne distraktoren burde derfor vært erstattet med en annen.

Distraktor B er den som færrest elever velger. Den knytter seg til begrepet grensefrekvens. De elevene som har valgt denne distraktoren, må sies å ha en svært dårlig forståelse av fotoelektrisk effekt. En av begrunnelsene for å behandle den fotoelektriske effekten så grundig, er jo at dette fenomenet ikke kan forklares ved hjelp av en bølgemodell for lys. Det observerte faktum at lys under en viss grensefrekvens, selv om intensiteten til lyset er uendelig stor, aldri fører til fotoelektrisk effekt, ligger i kjernen av dette argumentet. Det er imidlertid vanskelig å se at distraktoren har noen annen hensikt enn å «lure» elever som er svært usikre. Den kan trigge enkelte elever fordi ordet grensefrekvens er kjent.

Oppgaven er unntatt fra offentligheten og oppgaveteksten må derfor ikke siteres eller kopieres på noen annen måte.

4.4.2 Oppgave 7

Denne oppgaven var åpen og besto i at elevene skulle gjøre beregninger ved hjelp av Einsteins formel for fotoelektrisk effekt. Formelen ble oppgitt foran i TIMSS-heftet. Den ble ikke oppgitt på min egen undersøkelse, men de fikk lov til å bruke formelsamlingen i fysikk.

Tabellen viser løsrivingsarbeidet for fotoelektrisk effekt i tre ulike metaller.

Metall	W
Ca	$4,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
Li	$4,65 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
Zn	$6,94 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Hvilke(t) av disse metallene vil emittere elektroner når de blir bestrålt med synlig lys med bølgelengden 400 nm?

Begrunn svaret:

Oppgaven er noe omformulert i forhold til TIMSS. Bokmålutgaven hadde formuleringen: «Hvilke av disse metallene...». I den nynorske utgaven av denne oppgaven i TIMSS ble elevene spurt om «kva for eit» av disse metallene som ville emittere elektroner. Denne entallsformen er uheldig fordi det riktige svaret er at to av metallene vil emittere elektroner, Ca og Li. Denne «feilen» skyldes nok en glipp i oversettelsen av det engelske spørsmålet som inneholdt formuleringen «which metals». Dette medfører at vi ikke kan se bort fra et argument av typen at siden Ca har minst løsrivingsarbeid, og siden det bare er ett av de, må det være dette som emitterer elektroner. Dette vil i såfall svare til kode 70 i tabell 4.7 på neste side. Det kan også tenkes at elever som hadde resonnert på denne måten, kun svarte at Ca ville emittere elektroner. Slike svar ville i så fall blitt kodet med 79 (jfr. tabell 4.7). Jeg sjekket derfor om det var en forskjell mellom elever med henholdsvis nynorsk og bokmål som hovedmål i TIMSS. Andelen elever med nynorsk som målføre, var så liten at forskjellene ikke er signifikante, men forskjellene er relativt store. Langt flere av nynorsk-elevene ble kodet til 70 eller 79. Jeg kan ikke konkludere sikkert med at denne endringen i formulering har hatt noe å si, men elevene som fikk de ulike oppgaveformularene har hatt forskjellig utgangspunkt: Nynorsk-elevene er i utgangspunktet på jakt etter ett bestemt metall, bokmål-elevene er på

leting etter flere metaller (altså to eller tre), mens elevene i min undersøkelse ikke på forhånd hadde slik informasjon.

Det ble i utviklingen av TIMSS laget et tosifret kodesystem for denne oppgaven (og de andre åpne oppgavene som var med, se kap. 3.2.2). For denne oppgaven så dette skjemaet slik ut:

Code	Respons
Correct Response	
20	Ca and Li (not Zn) will emit electrons. Reasoning: compares photon energy with the work function (W). OR: Einstein's equation gives negative kinetic energy for Zn. Calculations must be shown. <i>Example: Einstein's equation: $hf = W + E_k$.</i> <i>Photoelectric effect if $hc/\lambda > W$. $hc/\lambda = 5.0 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ which is less than the work function for Zn, but greater than that for Ca and Li.</i>
21	Ca and Li (not Zn) will emit electrons. Reason compares the threshold frequencies (or wavelengths) with the photon frequency (wavelength). Calculation must be shown.
29	Other correct responses.
Partial Response	
10	Correct method, but calculation error.
11	$hf = hc/\lambda = 5.0 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ correctly calculated, but conclusion missing or incorrect.
12	Correct reasoning, but incorrect conclusion. <i>Example: All the metals will emit electrons because light with $\lambda = 400 \text{ nm}$ has energy greater than the work function.</i>
19	Other partially correct responses
Incorrect Response	
70	Ca will emit electrons because of the smallest W.
71	Ca and Li will emit electrons. No work shown.
79	Other unacceptable responses.
Nonresponse	
90	Crossed-out/erased, illegible, or impossible to interpret.
99	BLANK

Tabell 4.7: Kodeskjema for oppgave F15 ved TIMSS-testen, oppgave 7 i RVO99 (TIMSS Free Response Coding Guide 1995).

I tillegg til dette kodeskjemaet ble det lagt ved typiske eksempler på svar i hver av kodene.

Vi ser nok et eksempel på en oppgave som ikke gir mye diagnostisk informasjon utover en korrekthets-dimensjon. Svar som er kodet med 11 inneholder en interessant gruppe. Disse elevene klarer å utføre den beregningen som er relevant, men de tolker ikke dette tallsvaret på noe slags vis. Dette er et fenomen som ikke er uvanlig i undersøkelser av denne typen: Elevene kan utføre både enkle og mer sofistikerte beregninger, men de er ofte ikke i stand til å gi en kvalitativ tolkning av svaret.

Resultatet på denne oppgaven i RVO99 og i TIMSS vises i tabell 4.8 nedenfor:

Kode	RVO99 N=236	TIMSS (totalt) N=349	TIMSS (nynorsk) N=52	TIMSS (bokmål) N=297
20	39	38	29	41
21	2	3	2	3
29	0	0,3	0	0
10	0,4	1	0	1
11	8	12	12	11
12	2	3	2	2
19	5	1	0	2
70	1	4	3	6
71	3	0,4	0	2
79	18	12	17	10
90	6	1	0	1
99	17	26	33	26

Tabell 4.8: Prosentvis fordeling på elevers svar på oppg. 7 i RVO99 og oppgave F15 i TIMSS.

Det internasjonale gjennomsnittet viste at denne oppgaven ble oppfattet som svært vanskelig i de fleste land. Over halvparten av elevene leverte en blank eller på annet vis ikke-tolkbar besvarelse (kodene 90 og 99). Kun 12% av besvarelsene ble vurdert som riktige og den samme andelen besvarelser som delvis riktige. Norge og Sverige skilte seg klart ut fra resten av landene også for denne oppgaven.

Det er imidlertid vanskelig å konkludere med at elever i Norge preges av en god forståelse av problemstillingen som tas opp i oppgaven. Det viser vel bare at fotoelektrisk effekt er et sentralt emne i vårt land. Oppgaven er også velkjent i formen og kan sies å være et typisk delspørsmål på oppgave 1 til eksamen, eller som inngangsspørsmål til en større oppgave om fotoelektrisk effekt.

Oppgaven er unntatt fra offentligheten og oppgaveteksten må derfor ikke siteres eller kopieres på noen annen måte.

4.4.3 Oppgave 8

I denne oppgaven var det snakk om en grafisk framstilling av elektroners kinetiske energi i forbindelse med et tenkt forsøk. Det er vanskelig å se at de ulike distraktorene beskriver alternative forestillinger som elevene har i forbindelse med fotoelektrisk effekt. Oppgaven er like mye en test på om elevene er i stand til å forstå en grafisk framstilling på grunnlag av Einsteins likning. Ved hjelp av denne ser man at stigningstallet for alle slike grafer er lik Plancks konstant. Ved et slik resonnement vil man kunne utelukke alt. B og D. For å se at alt. A er det riktige, kan man enten bruke at grensefrekvensen er proporsjonal med

Grafen viser den maksimale kinetiske energien (K) til elektroner som blir emittert fra et metall ved fotoelektrisk effekt, som funksjon av frekvensen (f) til den strålingen som treffer metallet.

Hvilken av grafene nedenfor viser best sammenhengen mellom kinetisk energi og frekvens til et annet metall med mindre løsrivingsarbeid?

Alle grafene har samme frekvensskala og energiskala

Sett en ring rundt én bokstav

	RVO99	TIMSS
A*	67	64
B	4	8
C	11	8
D	15	19
Ikke svart	3	2

Tabell 4.9: Prosentvis fordeling på oppg. 8 i RVO99 og oppg. H03 i TIMSS.

løsrivingsarbeidet og dermed må være mindre, eller man kan resonnerer ved å tenke seg den rette linjen forlenget bakover til skjæringspunktet med 2. akse, noe som vil svare til løsrivingsarbeidet med negativt fortegn. De av oss som har gjort forsøket hvor hensikten er å beregne Plancks konstant ved å bruke en spesielt utviklet fotocelle, vil kjenne igjen slike grafer (se også kap. 4.3.2). Tabellen ovenfor viser resultatene i de to undersøkelsene.

Vi ser av tabell 4.9 at svarprofilene er ganske like hverandre. Distraktor D er den dominante. Den norske TIMSS-gruppen har foreslått at dette kan skyldes at i dette alternativet er noe bevart, nemlig grensefrekvensen (Angell m. fl. 1999).

Jeg har undersøkt om det hadde noe å si hvorvidt elevene hadde gjort det omtalte forsøket med fotocella, men det var kun små ulikheter i svarfordelingen til de som hadde gjort, og de som ikke hadde gjort dette forsøket (eller andre forsøk).

4.4.4 Oppsummering av oppgavene om fotoelektrisk effekt

De tre oppgavene som ble gitt til TIMSS gir lite diagnostisk informasjon om hvordan elever forstår fotoelektrisk effekt. De kan stort sett brukes for å fastslå hvor stor del av våre elever som kan bruke Einsteins likning (oppg. 7 og 8). I TIMSS er det påvist at norske elever gjorde det svært godt på disse oppgavene sammenliknet med andre land (Angell 1999). Dette kan som sagt tilskrives at denne effekten har en svært sentral plass i vårt pensum. Dersom vi skal beskrive situasjonen så negativt som mulig, kan vi kanskje si at resultatet på denne oppgaven er svakere enn vi kunne forvente. Sammenlikner man løsningsprosenten med tilsvarende enkle spørsmål fra eksamen, er den relativt lav (Angell m. fl. 1993).

Det er små forskjeller mellom elevenes svar i TIMSS og i denne undersøkelsen. Dette skyldes nok at fotoelektrisk effekt er like sentralt i den nye planen som den gamle, noe som også reflekteres i de nye læreverkene.

Korrelasjonene mellom skåre (se korrekthetsanalysen kap. 4.8) på oppgavene viser at det er liten sammenheng mellom elevers svar på de tre oppgavene. Man kan derfor ikke si at oppgavene til sammen måler elevers forståelse av fotoelektrisk effekt.

Det er ingen signifikant forskjell mellom hvordan jenter og gutter scorer på de tre oppgavene. Jentene gjør det marginalt bedre enn guttene på oppgave 6 og 7, mens guttene gjør det tilsvarende bedre enn jentene på oppgave 8.

Det burde vært laget noen flere oppgaver, spesielt oppgaver som dreier seg om hvordan dette fenomenet kan tolkes slik at det gir oss evidens **mot** en bølgemodell for lys. Fletchers (1997) oppgave som er omtalt i kap. 2.3.5, hadde i så måte vært interessant å prøve ut. Jeg vil anta at en slik oppgave ville blitt oppfattet som vanskelig for våre elever fordi dette ikke er et poeng som fokuseres i vår undervisning av fotoelektrisk effekt.

4.5 Bølge-partikkel dualisme

Det er tre oppgaver i testen som har til hensikt å kartlegge hvordan elever vurderer fotoners og elektroners natur. Bølge-partikkel-dualismen har en sentral posisjon i alle de tre læreverkene som eksisterer, og jeg antar derfor at den også har en sentral plass i undervisningen av kvantefysikk. Kvantefysikken forteller oss at vi ikke kan gi en komplett beskrivelse av disse størrelsens egenskaper ved å bruke klassiske partikkel- eller bølgemodeller (jfr. kap. 2.3.3). Jeg gir her en innholdsbeskrivelse basert på analyser av disse oppgavene.

4.5.1 Presentasjon av oppgave 4 og 5 og hensikten med disse

Oppgave 4 og 5 må sees i sammenheng. Hensikten med disse oppgavene er å se om elevene har et slags symmetrisk syn på fotoner og elektroner. En slik symmetri blir formidlet i dagens kurs. Et eksempel på et argument som bygger på symmetri, er deBroglies hypotese om at siden lys er en partikkel med bølgenatur, må alle partikler ha en bølgenatur. Man gjennomgår i 3FY dobbeltspaltforsøk både for lys og elektroner, og tolkningen av disse bygger på en sammenlikning mellom lys og elektroners egenskaper. Dette er også et eksempel på hva jeg mener med et symmetri-argument. Jeg konstruerte derfor disse to nesten identiske oppgavene:

4. Ta stilling til hvilken av påstandene nedenfor som er riktig:

Sett en ring rundt én bokstav

- A. Lys er både bølger og partikler.
- B. Lys er partikler.
- C. Lys er enten bølger eller partikler.
- D. Lys er bølger.
- E. Lys er verken bølger eller partikler.

Begrunn svaret ditt:

5. Ta stilling til hvilken av påstandene nedenfor som er riktig.

Sett en ring rundt én bokstav

- A. Elektroner er både bølger og partikler.
- B. Elektroner er partikler.
- C. Elektroner er enten bølger eller partikler.
- D. Elektroner er bølger.
- E. Elektroner er verken bølger eller partikler.

Begrunn svaret ditt:

Oppgavene var blitt prøvd ut i pilottesten. Selv om jeg ikke fikk tid til en grundig analyse av pilottesten, så jeg helt klart at elever flest ikke har et symmetrisk syn på naturen til lys og elektroner. De har altså ikke inkorporert et generelt dualismebegrep slik det forsøkes framstilt i våre lærebøker i 3FY. Dette var såpass interessant at jeg gjerne ville beholde oppgaven selv om jeg allerede på dette tidspunktet hadde noen kritiske innvendinger mot oppgaven. Dette vil jeg komme tilbake til senere i kapitlet.

4.5.2 Presentasjon og drøfting av resultater på oppgave 4 og 5

Resultatene fra flervalgsdelen presenteres i tabell 4.10 nedenfor.

	Lys	Elektroner
A	77	36
B	2	59
C	5	4
D	9	0
E	8	1

Tabell 4.10: Prosentvis fordeling på oppgavene 4 (lys) og 5 (elektroner).

Vi ser at elevene generelt ikke har et symmetrisk syn. Lys har en klarere status som både lys og bølger på samme tid, mens elektroner i større grad oppfattes som partikler. Dette er vel ikke overraskende. Partikkelsynet på elektroner slås gjerne fast gjennom konkrete figurer i læreboka, det er en partikkel med masse og ladning og vi snakker om elektroner i forbindelse med støt. Fotoner er derimot noe mer ullent. Lys er elektromagnetiske bølger i ungdomsskolen, i 1NA kurset og i 2FY. Så plutselig i 3FY blir det til en slags partikkel. Den tegnes riktignok som en slags krusedull, og den er masseløs. Det blir sagt at den kan delta i støt på samme måte som partikler, og at den derfor har bevegelsesmengde (selv om den er masseløs!!!). Symmetriargumentet faller ikke helt i god jord. Det er imidlertid verdt å merke seg at disse resultatene støtter en hypotese formulert av Fischler og Lichtfeldt (1992a) som sier at elevene uproblematisk vil akseptere at lys består av partikler, og på denne måten kunne forlate et rent bølgesyn på lys, men de vil ha større problemer med å akseptere at elektronet ikke er en partikkel i klassisk forstand. Elektronets bølgenatur aksepteres ikke like lett.

Jeg ønsket imidlertid å prøve å komme litt nærmere elevenes tanker. Dette var motivasjonen for å velge et oppgaveformat hvor eleven skulle begrunne sitt valg. I analysen av disse begrunnelsene har jeg klassifisert svar etter en del kategorier som ikke var bestemt på forhånd. Jeg begynte med å transkribere alle begrunnelsene. I denne prosessen fikk jeg et første inntrykk av svarene og så at det eksisterte ulike forklaringstyper. Noen forklarte ved å drøfte modellbegrepet, andre begrunnet med å vise til noen fenomener, atter andre forklarte ved å peke på enkle egenskaper ved bølger og/eller partikler. Noen ga eksempler på generelle, definerende egenskaper for bølger og/eller partikler. Jeg så også at de tre alternativene i flervalgsoppgaven som representerte et dualistisk syn (alt. A, C og E) var problematiske. I begrunnelsene av disse alternativene skilte elevene dårlig mellom og/eller, og de ga svært svake argumenter for sitt syn. Det er derfor et behov for å se på sammenhengen mellom flervalgsoppgaven og begrunnelsen noe nærmere.

Kategoriene er altså basert på elevenes svar, og hensikten med disse er å beskrive innholdet og formen i svarene, ikke om det som står der er riktig eller galt. Jeg så imidlertid i denne skrivelese-prosessen at det eksisterte direkte feil, samt at jeg så spor etter noen mulige alternative forestillinger. En slik riktig/gal vurdering lar jeg imidlertid få ligge til kapittel 4.8.

Grunnleggende innholdskategorier: Ved gjennomlesning av elevenes begrunnelser merket jeg at de ikke nødvendigvis var konsistente med det de hadde krysset av på flervalgsdelen. Jeg bestemte meg derfor for å kategorisere begrunnelsene uavhengig av valget i flervalgsdelen. Tabell 4.11 på neste side gir en oversikt over de kategoriene som ble brukt til slutt.

Disse kategoriene står i noe ulike forhold til hverandre. I tabellen har jeg delt kategoriene inn i tre grupper. Gruppe 1 kan sies å fange inn et partikkelsyn, gruppe 2 svarer til et bølgesyn og gruppe 3 forsøker å fange inn et dualistisk syn. Gruppe 4 fanger opp de elevene som enten ikke har svart, eller som har gitt svar som ikke har vært mulig å plassere i en av gruppene ovenfor.

Gruppe	Kategori	Beskrivelse	Oppg. 4	Oppg. 5
1 Partikkelsyn Tilsvarende alt. B i flervalg	A	Lys/elektroner er partikler.	0,4	27,9
	B	Lys/elektroner er partikler, men de har noen bølgeegenskaper.	1,7	22,0
	C	Lys/elektroner er partikler som beveger seg i bølger.	8,1	6,4
2 Bølgesyn Tilsvarende alt. D i flervalg	D	Lys/elektroner er bølger.	6,7	0
	E	Lys/elektroner er bølger, men har noen partikkelegenskaper.	2,5	0
3 Dualistisk syn Tilsvarende alt. A, C og E i flervalg	F	<i>Løst formulert dualisme:</i> Lys/elektroner er (eller har egenskapene til) både til bølger og partikler eller Enkelte fenomener kan forklares vha bølgeegenskaper, andre vha partikkelegenskaper.	59,2	17,4
	G	« <i>Genuin</i> » både-og-dualisme: Enkelte fenomener kan forklares vha bølgemodell, andre vha partikkelmodell⇒Vi må bruke både bølge- og partikkelmodell når vi skal beskrive lys/elektroner⇒Lys/elektroner er derfor både bølger og partikler på samme tid..	0,4	2,5
	H	<i>Konkret både-og-dualisme:</i> Lys/elektroner består av to deler; en bølge og en partikkel.	3,4	0
	I	<i>Enten-eller-dualisme:</i> Lys/elektroner er enten bølger eller partikler, avhengig av forsøk/observasjon.	4,2	0
	J	<i>Anti-dualisme:</i> Ingenting kan være både bølge og partikkel ⇒ Lys/elektroner er verken bølger eller partikler, men det har egenskaper fra begge modellene.	0,4	0
4 Ikke-svar	R	Ikke mulig å tolke / irrelevant svar	8,1	8,9
	S	Ikke svart	4,7	14,8

Tabell 4.11: Kodeskjema brukt for å kartlegge innholdet i elevenes begrunnelser på oppgave 4 og 5

Disse tre gruppene er gjensidig utelukkende. Innenfor hver gruppe er også alle kategoriene blitt behandlet som gjensidig utelukkende. Vi ser imidlertid at den første kategorien innenfor hver gruppe er mer generell og de nedenfor er mer spesifikke. Dersom det var mulig å plassere en elev i en av de spesifikke kategoriene ble dette gjort. For at dette skulle skje, måtte eleven ha gitt et svar som var så eksplisitt at jeg ikke var i tvil om at eleven skulle havne i denne kategorien. Dette er spesielt viktig for svarene som ble plassert i gruppe 3. En stor del av disse svarene var såpass generelle, flytende, vage at de ikke kunne plasseres direkte i de spesifikke kategoriene. De ble derfor plassert i den noe mer åpne/generelle kategori F. (Det kan umiddelbart synes som om kategori G er svært lik kategori F. Ved nærmere ettersyn vil man imidlertid se at kategori G krever at elevene fører et eksplisitt argument som leder fram mot det jeg har kalt for «genuin» dualisme, nemlig at lys/elektroner er både bølger og partikler på samme tid).

Vi ser av resultatene at de gjenspeiler noen trekk ved svarene i flervalgsoppgaven. Elektroner oppfattes i større grad som partikler, noe som gjerne begrunnes med at de har masse og/eller ladning. Lys har imidlertid en mer komplisert, dualistisk natur.

Går vi litt grundigere inn på begrunnelsene, ser vi at de gir oss noe mer informasjon. Jeg vil først rette oppmerksomheten mot gruppe 1. En god del elever har som sagt en forestilling av

elektroner som partikler, men vi ser at en god del av disse elevene har inkorporert budskapet fra kvantefysikken ukritisk. Det er fortsatt partikler, men de har noen bølgeegenskaper. Det har altså ikke skjedd noen store endringer i elevens kunnskapsstruktur. Den gamle strukturen har kun blitt noe utvidet. De fleste sier ikke mer presist hva disse bølgeegenskapene er for noe, men noen formulerer at partiklene beveger seg i bølger. Et typisk eksempel på et elevsvar som ble plassert i denne kategorien (kat. C) er:

Elektronet har bev. mengde. Elektronet har masse. Elektronet kan bevege seg i bølger.

(Elev 1-6)

Denne eleven hadde i flervalgsoppgaven svart at «elektroner er partikler» (alt. A). Vi ser også at dette synet uttrykkes av en betydelig gruppe elever når de skal beskrive lysets natur. Et eksempel kan være denne begrunnelsen av at «lys er både bølger og partikler»:

Lys består av fotoner. Disse fotonene er masseløse partikler som har en bestemt energi. Fotonene beveger seg i bølger.

(Elev 10-3)

Gruppe 2 er den minste av de tre gruppene, og den viser at en liten andel elever har beholdt et syn der lys har bølgenatur. Elevene som havner i disse kategoriene har enkle begrunnelser. Vi ser dessuten at kategori E representerer for lys noe av det samme som kategori B i gruppe 1 for elektroner. For elevene i kategori E er lys bølger, men den gamle begrepsstrukturen har blitt utvidet med at disse bølgene har noen partikkelegenskaper.

Gruppe 3 er den største kategorien i beskrivelsen av lys. Vi har allerede påpekt at mange har problemer med å argumentere for et dualistisk syn (kat. F). Utover dette ser vi at elevene har ulik forståelse/tolkning av denne dualismen. Jeg har som vist i tabell 4.11 ovenfor, kategorisert i to ulike både-og-dualistiske syn (kat. G, H) i tillegg til en enten-eller-dualisme (kat. I) og en anti-dualisme (kat. J). Det er ikke mange elever i hver av disse kategoriene, men jeg vil anta at flere av de elevene som har havnet i kategori F, ville ha havnet i en av disse dersom de hadde blitt ledet til å svare mer eksplisitt (f. eks. i et oppfølgingsintervju). Det er derfor mulig at kategoriene G-J representerer utbredte forestillinger/tolkninger av bølge-partikkel-dualitet.

Av disse kategoriene kan H sies å representere noe av det samme som kategoriene B, C og E fra gruppene ovenfor. I likhet med disse kategoriene ser vi her elever som har utvidet sin allerede eksisterende begrepsstruktur uten å revidere denne i særlig stor grad. Et typisk eksempel er:

Lys har bølgeegenskaper på den måten at det kan bøyes av og interferere. Men de har også partikkelegenskaper. Partikkelen i lys kalles foton.

(Elev 15-7)

Det finnes lysbølger & partikler

(Elev 11-1)

Vi ser imidlertid av disse eksemplene at svarene i denne gruppen muligens ikke er like eksplisitte som de andre kategoriene.

Jeg har krysstabulert svarene på flervalgsoppgavene med disse grunnleggende innholdskategoriene. Det viser seg at de elevene som har valgt alternativ B eller D i flervalgsoppgaven gir begrunnelser som eksplisitt støtter dette valget. De som har valgt de tre andre alternativene som svarer til et dualistisk syn, viser en større spredning i sine begrunnelser. Særlig stor spredning viser den store gruppen med elever som har valgt

alternativ A i oppgaven for lys. Ikke overraskende havner store deler av de elever som har besvart flervalgsoppgaven med alt. A, C eller E, i kategori F, den vage løst formulerte dualismen. Dette kan tyde på at ulikheten i de tre distraktorene ikke oppfattes av så mange elever. Dette skiller seg litt fra pilottesten, hvor de som valgte alt. E ga spesielt gode svar.

Imidlertid er det altså nesten åtte av ti elever som velger distraktoren «lys er både bølger og partikler». Dette kan ikke tolkes på noen annen måte enn at elevene har en eller annen slags formening om at lys er begge deler på samme tid. Det at de ikke klarer å argumentere godt for sitt syn, viser muligens at denne dualismen er en ganske løs idé uten sterke forbindelser til begrepene partikkel og bølge. Det er kanskje snakk om en innlært formulering uten stort meningsinnhold?

Modellers status: Jeg har registrert i hvilken grad elevene drøfter ved hjelp av modellbegreper, og hvilken ontologisk status elektroner og fotoner har. Tabell 4.12 viser resultatet av denne analysen. Noen av kategoriene som ble brukt, ser vi ligner på kategoriene som ble brukt for å beskrive innholdet i svarene (se tabell 4.11). Fokus har imidlertid vært noe ulikt.

Kategori	Oppg. 4	Oppg. 5
Problematiserende	8	1
Nevner at b&p er egenskaper	43	11
Er p, men har b-egenskaper	10	28
Er b, men har p-egenskaper	1	0
Klar realistposisjon	21	23
Vanskelig/umulig å tolke	12	18
Ingen begrunnelse	6	19

Tabell 4.12: Modellers status i oppgave 4 og 5. Tallene er prosentverdier.

Med **problematiserende** mener jeg at elevene setter modellbegrepet i seg selv i sentrum av begrunnelsen. Disse gir til kjenne et syn hvor verden i seg selv på dette nivået er utilgjengelig, men at vi har en beskrivelse av denne verden i form av modeller. Ett eksempel på et svar som havnet i denne kategorien er:

Lys er både bølger og partikler, fordi vi kan oppfatte dem som begge. Egentlig stemmer ingen av delene, fordi vi mest sannsynlig bare oppfatter deler av lysets natur, men det er gunstig å si at de er bølger og partikler for å kunne forstå lettere.
(Elev 1-5)

I dette eksemplet ser vi at eleven fokuserer på at modeller gjør det lettere for oss å forstå. Eleven drøfter også eksplisitt bruken av ordet «er» i dette alternativet. Ikke alle som havnet i denne kategorien brukte ordet modell, beskrivelse eller lignende. Det var nok at de problematiserte bruken av ordet «er». Sentralt i begrunnelsen deres var at vi ikke uten videre kunne konkludere med at lys «er» bølger eller partikler, selv om forsøk kan vise at lys kan ha både bølge- og partikkelegenskaper.

En svakere form av dette finner vi i den neste kategorien som består av elever som bruker ord som egenskaper, natur, tendens o. l. i sine svar, men uten eksplisitt å kommentere hva de legger i dette.

Jeg opererer dessuten med en kategori hvor jeg har plassert de elevene som konsekvent bruker formuleringer som kan tyde på en klar realistposisjon. Realist i denne sammenhengen

refererer til ontologisk realisme, altså et syn på at vi virkelig ser/observerer eller opplever naturen slik den *virkelig er*. Det er imidlertid et element av «luring» i denne oppgaven ved at jeg bruker ordet «er» i alle alternativene. Det at elevene bruker tilsvarende formuleringer kan meget vel være et resultat av at de produserer svaret ved delvis å bruke formuleringer fra oppgaveteksten ukritisk. Imidlertid eksisterer det to andre kategorier som også er uttrykk for et realistisk syn; det at lys er bølger som har enkelte partikkelegenskaper, og det at lys/elektroner er partikler som har noen bølgeegenskaper. (Vi ser at disse kategoriene også er brukt i beskrivelsen av innholdet ovenfor. Fokus har imidlertid her kun vært på bruk av ord som «er» og «egenskaper»). Et typisk eksempel fra den sistnevnte kategorien:

Elektroner og fotoner er partikler → bruker bølger for å beskrive hvordan de beveger seg.

(Elev 4-18)

Vi kan muligens med større grad av sikkerhet slutte at denne eleven har en realismeposisjon fordi han/hun har reflektert over bruken av ord i distraktoren i større grad. Hadde eleven derimot bare sagt at «lys er bølger og partikler på samme tid», kan dette som nevnt skyldes at eleven ikke i nevneverdig grad har reflektert over bruken av ordet er, men bruker det fordi det står i distraktoren.

Det er interessant å legge merke til at elevene i større grad har en konkret partikkelforestilling av elektroner, mens det virker som om både lysbølger og/eller partikler har en mindre konkret/realistisk status. Samtidig er det flere elever som forsøker å begrunne sitt syn på lys enn sitt syn på elektronet. Ca. 75% av de som ikke velger å begrunne sitt syn på elektronet, har valgt «elektroner er partikler» i flervalgsdelen. Dette kan kanskje skyldes at begrepet partikkel er vanskelig å begrunne fordi det er så fundamentalt. Det er et grunnleggende begrep som har blitt brukt så mye i undervisningen at et eksplisitt og bevisst forhold til termen muligens ikke eksisterer lenger.

Forklarende element: Svarene ble også kategorisert i forhold til hva slags elementer som inngikk i forklaringen. Tabell 4.13 nedenfor viser resultatene av denne analysen.

Forklarende element	Lys	Elektron
Bølgefenomen	42	24
Bølgetype	13	11
Definerende størrelse/egenskap for bølge	18	17
Partikkelfenomen	27	13
Partikkeltype	26	9
Definerende størrelse/egenskap for partikkel	20	43
Historisk element	6	4
Sum	152	121

Tabell 4.13: Oversikt over ulike typer forklarende elementer som brukes. Kategoriene er ikke gjensidig utelukkende. De tykke strekene lager skiller mellom bølgeforklaring og partikkelforklaring, samt at det skiller ut et element som er av en annen type, nemlig det historiske elementet. Tallene viser prosentandel av hele utvalget.

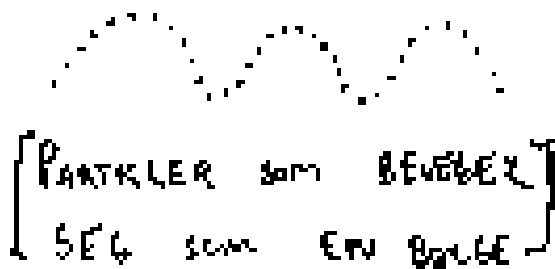
Hver av disse ulike forklarende elementene eksisterer som hver sin variabel i databasen. Disse variablene er i utgangspunktet mer spesifikke med flere kategorier, men de har blitt rekodet slik at de viser om de ulike forklarende elementene forekommer eller ikke. En elev kan godt nevne et fenomen som forklarer at lys er bølger, samtidig som han/hun også forklarer ved å nevne en definerende egenskap ved bølger, samtidig som at lys klassifiseres som partikler ved å nevne at dette er en partikkel som vi kaller fotoner (forklaringselement partikkeltype). Summen i kolonnene i tabell 4.13 er derfor ikke 100%.

Vi ser noen forskjeller i måten elever begrunner sitt syn på lys og elektroner. Flere nevner fenomener når de skal forklare lysets egenskaper, samtidig som flest elever legger vekt på definerende størrelser ved elektronet som partikkel. Vi ser også at elevene oftere tyr til flere forklaringsformer når de skal begrunne lysets natur. Dette er nok også delvis en konsekvens av at flere elever ga en begrunnelse for sitt syn på lysets natur enn på elektronets natur.

Vi ser også at det er noen ulikheter når vi sammenlikner hvordan elever forklarer bølger og hvordan de forklarer partikler. Elevene vil i større grad forklare bølgeegenskaper ved å nevne fenomener som kan fungere som evidens, mens partikkelegenskapene i større grad defineres.

Jeg gir ikke her en fullstendig presentasjon av alle de underkategoriene jeg har operert med. Jeg gir i stedet en oppsummering av noen av de mest sentrale funnene.

Vi ser at relativt mange nevner fenomener i begrunnelsen av et bølgesyn. **Interferens** er det vanligste, ofte i kombinasjon med bøyning og brytning. Dette gjelder for både lys (29%) og elektroner (21%). Det fenomenet som viser lysets partikkelnatur er hovedsaklig **fotoelektrisk effekt** (14%). **Absorpsjon** og **emisjon** av stråling fra atomet (4%), påvirkning av **gravitasjon** (3%), **støt** og **pardannelser** (3%) nevnes også av flere. Det er verdt å merke seg at svært få nevner **Compton-effekten**. Fenomener som forklarer elektronets partikkelnatur nevnes som vi ser i tabell 4.12 av svært få. De mest vanlige er at elektroner påvirkes av **elektriske krefter**, de deltar i **støt** og vi kan **måle massen** (alle 3% eller mindre).



Figur 4.3: En tegning fra en elevs begrunnelse av at elektroner er partikler med bølgeegenskaper.

Elementet som jeg har kalt for bølgetype fanger opp noen små, men interessante grupper. Den ene gruppen, som vi nok en gang kommer tilbake til, er de elever som typifiserer bølgene som en konkret, tversbølge som forplanter seg gjennom rommet. Det er ikke en vibrasjon i et abstrakt elektromagnetisk felt det er snakk om, men det er snakk om **partikler som beveger seg i bølgeform**. Dette ser vi tydelig av figur 4.3 som er scannet fra en av elevenes svar. Selv om prosentandelene er små (8% for lys og 6% for elektroner) kan det tenkes at vi her ser konturene av en alternativ forestilling som er

mer utbredt enn det denne undersøkelsen påviser. Det vil være nødvendig med et mer tilrettelagt instrument eller intervjuer for å få belyst dette nærmere. Noen svært få elever nevner begrepet **sannsynlighetsbølge**. Det er dessuten et tilsvarende lavt antall elever som gir svar som indikerer at bølgen kun kan oppfattes som en **aggregert egenskap** for flere elektroner. Kun en elev bruker begrepet **materiebølge** i forbindelse med elektronet og en liten andel uttrykker at lys er **elektromagnetiske bølger**.

Jeg har tilsvarende sett på ulike partikkeltyper som eksisterer i elevenes svar. Vi ser av tabell 4.12 at det ikke er mange som klassifiserer disse partiklene i forhold til eventuelt andre partikler. De få som har gjort dette har hovedsakelig brukt ordet **foton** (16%) for lys. En noe mindre gruppe er de som nevner at lyspartikkelen kan sies å være en «**energiklump**» (8%). For elektroner er det noen få som klassifiserer dem som **elementærpartikler** (5%) eller bare **små partikler** (3%).

Det er også få som nevner definerende størrelser for bølger. Både for lys og elektron er det **bølgelengde/frekvens** (13% for lys og 11% for elektron) som nevnes oftest. Vi skal legge merke til at ordet frekvens også brukes i forbindelse med elektroner. For lys er den nest vanligste definerende egenskapen at det er **masseløst** (i motsetning til partikler som har masse). For elektroner er det en liten gruppe som nevner at bølgenaturen til elektroner skyldes bevegelsesmengde, fart, kinetisk energi eller høy spenning (ca. 5%), altså en slags **deBroglie'sk definisjon** av bølgeegenskapen.

Partikler defineres i større grad. Dette gjelder særlig for elektronet, som mange slår fast er en partikkel fordi det har en eller annen bestemt iboende egenskap/størrelse masse (35%) og/eller ladning (15%). Masse er oppfattet tydeligvis som en grunnleggende definerende størrelse ved en partikkel fordi flere mener også at lys har masse (5%). Partikler defineres i mindre grad ved hjelp av bevegelsesmengde (13% for lys og 5% for elektron).

4.5.3 Vurdering av oppgave 4 og 5.

I dette avsnittet ønsker jeg å gå nærmere inn på noen av svakhetene ved oppgavene 4 og 5. En slik kritikk er sentral i en vurdering av oppgavenes innholdsvaliditet (se kap. 3.1.1).

En hovedkritikk er at jeg i alle distraktorene bruker ordet «er». Man kunne tenke seg å erstatte dette med distraktorer som f. eks. «lys kan best beskrives av en bølgemodell». Når jeg valgte «er» skyldes dette først og fremst at jeg var interessert i å skaffe meg innsikt i elevenes modellbegrep. Dersom jeg hadde skrevet ord som modell, egenskap e. l. i distraktoren ville jeg fått et tolkningsproblem av svarene. Dersom en elev hadde brukt en av disse ordene i sitt svar kunne jeg ikke se bort ifra at det bare var en gjentakelse/omskrivning av distraktorene. Slik oppgaven nå var formulert, kunne jeg anta at eleven bevisst hadde valgt ordet modell, natur el. l. Jeg har noe av det samme problemet med ordet «er» når jeg skal prøve å vurdere hvorvidt elevene har et naivt realistisk syn (se tabell 4.11).

Det er dessuten muligens et validitetsproblem knyttet til elevers beherskelse av språket. Dette er vanligvis ikke et problem for tester på elever i denne aldersgruppen, men i disse oppgavene er nyansene så ørsmå at det er vanskelig å trekke for sikre konklusjoner om hva eleven egentlig har ment. Vi ser dette tydelig i klassifiseringen av innholdet i begrunnelsene til oppgave 4 (se tabell 4.11) hvor nesten 60% av elevene har et dualistisk syn som er vanskelig å tolke noe nærmere.

En annen kritikk er at en elev kan tenke langs følgende baner: Han bes om å plukke ut hvilken av disse beskrivelsene som er riktig. Dersom han bruker eliminasjon kan han tenke at dersom alternativet «lys er partikler» er det riktige, så vil også alternativet «lys er enten bølger eller partikler» være riktig. På samme måten kan han resonnerer rundt setningen at «lys er bølger». Disse tre alternativene kan derfor ikke være riktige siden det bare er en som er riktig. Det er altså mulig å eliminere på denne måten. Imidlertid eksisterte det ikke noen spor etter en slik eliminasjon i begrunnelsene, og jeg antar derfor at den ikke har forekommet i særlig grad.

I ettertid kunne jeg tenke meg å prøve ut noen alternative formuleringer av distraktorer, basert på de funn vi har fra elevenes begrunnelser. Hovedsakelig skyldes dette at de tre distraktorene som fanger inn dualistiske syn ikke kan brukes alene i en flervalgsoppgave fordi meningen er uklar. Nye formuleringer kunne gitt oss mer presis informasjon om hva elevene tenker seg. En slik tenkt ny formulering kunne være:

-
- A. Lys/elektroner er partikler, men de beveger seg i bølgeform.
 - B. Lys/elektroner er både bølger og partikler på samme tid.
 - C. Lys/elektroner er enten bølger eller partikler, avhengig av hva slags forsøk vi gjør
 - D. Lys/elektroner er bølger, men enkelte forsøk viser at lys/elektroner også har partikkelegenskaper
 - E. Lys/elektroner er verken bølger eller partikler, men det har egenskaper som vi kjenner igjen fra både bølgeteori og partikkelteori.
 - F. Det finnes i dag ikke én teori som kan forklare hva lys/elektroner er. Vi må bruke to forskjellige teorier, bølgeteori og partikkelteori, i mangel av noe bedre.
-

Distraktor F er litt spesiell og begrunnelsen av denne er ikke tydelig ut fra presentasjonen av resultatene så langt. Det denne distraktoren er ment å fange opp, er et syn som ikke kommer fram i de dataene jeg presenterer, nemlig at vi ikke har en teori som kan forklare lysets eller elektronets egenskaper. Vi må bruke det beste fra vekselvis bølge- og partikkelteori.

Man burde også vurdere om ikke spørsmålsstillingen skulle vært mer åpen, f. eks: «Hvilken av disse setningene synes du best beskriver hva lys/elektroner er. Velg kun en av setningene ved å sirkle rundt bokstaven foran». Et annet format som er mulig er å la eleven kunne velge flere av disse, men prioritere mellom dem. En tredje mulighet er å formulere setningene som isolerte påstander som eleven skal ta stilling til hver for seg, f. eks. på en fempunkts skala fra «svært enig» til «svært uenig».

4.5.4 Presentasjon av oppgave 9, resultater og drøfting av disse.

I denne oppgaven var hensikten å finne ut hvilken mening elevene tilla begrepet elektronets bølgelengde. Oppgaven var formulert slik:

Du har i 3FY lært at vi kan regne ut bølgelengden til bl. a. elektroner. Du har i tillegg lært en del generelt om bølger både i 2FY og i 3FY.

Forklar hva vi mener med en bølge, og forklar hva bølgelengden til elektronene forteller oss.

Begrunnelsen for at elevene først skulle drøfte bølger generelt, var at elevene skulle foreta en vurdering av elektronets bølgelengde i forhold til bølgelengde som et mer generelt begrep.

Noe under halvparten av elevene svarte ikke på denne oppgaven i det hele tatt. Dette kan være et tegn på at elevene synes oppgaven var vanskelig. Det var også et par lærere som rapporterte i sitt spørreskjema at denne oppgaven hadde blitt oppfattet som vanskelig av elevene.

Elevenes svar var preget av at nesten all oppmerksomhet var knyttet til den første delen av spørsmålet; å beskrive bølger generelt. I disse beskrivelsene var det mange som hadde presentert en figur som viste en sinusformet kurve. Jeg har oppsummert i tabell 4.14 hvor mange som nevnte og forklarte noen sentrale begreper i forbindelse med bølger.

Jeg kan oppsummere at ved gjennomlesingen av disse svarene har det slått meg hvor liten vekt som legges på det dynamiske aspektet ved bølger. Bølger framstilles som noe statisk (stående bølger). De enkle egenskapene bølgelengde, periode, frekvens og amplitude, ble nevnt av langt flere enn tabellen viser. For å bli plassert i kategoriene i tabell 4.14 ble det også

krevd at en forklaring ble gitt. Summerer vi i tabellen ovenfor ser vi at minst $\frac{1}{4}$ av elevene ikke har blitt representert i noen av disse kategoriene.

Innholdselement	Andel
Periode nevnes og forklares	4
Bølgelengde nevnes og forklares	18
Amplitude nevnes og forklares	6
Frekvens nevnes og forklares	4
Interferens nevnes uten forklaring	6
Interferens forklares	3
Noe (svingning) som forplantes	14
Energi som transporteres	8
Bølge må ha medium	11

Tabell 4.14: Sentrale trekk i forklaring av bølge. Tallene i kolonnen til høyre er i prosent av hele utvalget. Kategoriene er ikke alle gjensidig utelukkende. Svaret til en elev kan derfor ha havnet i flere kategorier (eller ingen).

Mer som en kuriositet kan det i tillegg nevnes at begrepet periode forveksles med bølgelengde av mer enn halvparten av de som nevner og forklarer periode.

Jeg har viet mer oppmerksomhet til å se på ulike forklaringer av elektronets bølgelengde. Jeg kategoriserte mer enn 20 distinkte meninger om dette. Jeg har imidlertid valgt å samle disse i noen større grupper. Jeg har brukt et kodesystem tilsvarende kodesystemet som ble brukt for åpne oppgaver i TIMSS (se kap. 3.2.2 og 4.4.2). Jeg presenterer dette i sin helhet i tabell 4.15 nedenfor.

Kode	Beskrivelse	Andel
20	Sannsynlighetsbølge med forklaring	0,4
10	Sammenheng mellom λ og v eller p	10
11	Forteller oss at elektronet har bølgeegenskaper	5
19	Andre delvis riktige svar	2
70	Forveksling med lys Eks: Bølgelengden gir oss frekvensen og dermed energien eller bare Bølgelengden gir oss energien	20
71	Bølgebevegelse	7
79	Andre uakseptable forklaringer	4
99	Ikke svart på denne delen av spørsmålet	53

Tabell 4.15: Prosentvis andel av ulike tolkninger av elektronets bølgelengde (oppg. 9). $N=236$

Vi ser altså at kun 0,4% (1 elev) scorer fullt på denne oppgaven. I de delvis riktige svarene ser vi at knapt 20% av elevene klarer å gi en tolkning som må sies å være rimelig. Det mest vanlige er ikke overraskende at denne bølgelengden knyttes til deBroglie-relasjonen mer eller mindre direkte (kode 10). Dersom oppgaven hadde vært stilt kun med den siste

spørsmålsformuleringen: «Forklar hva bølgelengden til elektronene forteller oss» ville et slik svar blitt godkjent som riktig. Her var imidlertid hele oppgaven satt i en kontekst hvor **bølgeaspektet** ble poengtert. Å knytte bevegelsesmengde sammen med bølgelengde sier i grunn lite om hvordan elektronets bølgelengde er knyttet til bølgebegrepet generelt. Da anser jeg svar i kode 11 for å være en anelse bedre i så måte. I disse svarene legges det vekt på at elektroner viser bølgeegenskaper i eksperimenter og at denne bølgelengden har noe med dette å gjøre. Sammenhengen presiseres imidlertid ikke.

Vi ser at en betydelig gruppe forveksler elektronets bølgelengde med lysets bølgelengde. Et typisk resonnement er at kjenner vi bølgelengden, kan vi finne frekvensen og energien gitt av $E=hf$. $c=\lambda f$ gir sammenhengen mellom bølgelengde og frekvens. Kjenner vi bølgelengden, kan vi beregne frekvensen og dermed energien til elektronet! Ikke alle svar er like eksplisitte, men jeg har valgt å kode alle som sier at *bølgelengden gir oss energien til elektronene*, i denne kategorien. Jeg har dermed skilt mellom de som bruker ordet energi og de som spesifiserer med å si kinetisk energi. De som bruker ordet bevegelse eller kinetisk energi, ble kodet til 10. Vi kan se dette i sammenheng med at det også i oppgave 5 var elever som brukte termen *frekvens* for å beskrive elektroners bølgeegenskaper. Jeg registrerer at denne gruppen er stor. I ettertid vil jeg imidlertid anta at dette gjerne er en konsekvens av min tolkning av elevenes svar. Jeg vil derfor ikke konkludere med at vi her har en veldig utbredt alternativ forestilling.

4.5.5 Oppsummering av oppgavene om bølge-partikkel dualisme

De tre oppgavene som berører bølge-partikkel-dualismen har gitt oss to funn som jeg vil gripe tak i:

1) Elektroner oppfattes som partikler.

Dette understøtter konklusjonene til Bremen-gruppen (Niedderer 1998), Fischler og Lichtfeldt (1992a/b og 1999) og Mashhadi (1995) om at elevene har et syn på elektroner som klassiske partikler etter tradisjonell undervisning. Mange elever slår imidlertid fast at elektroner har bølgeegenskaper, men de har problemer med å fortolke bølgeegenskapene i denne modellen. Resultatet blir et partikkelbegrep med en i beste fall løs integrering av bølgeegenskapene, f. eks. i form av at elektronene beveger seg i en bølgeformet bane.

I TIMSS var det en oppgave hvor elevene skulle regne ut bølgelengden til et elektron med en viss fart. Dette er en velkjent oppgavetype fra eksamen i 3FY, og norske elever gjorde det svært bra på denne oppgaven. Mer enn 70% av elevene i Norge klarte å beregne denne bølgelengden. Av andre land var det bare Sverige som var over 50%. Jeg valgte å ikke repetere denne oppgaven i min test fordi jeg måtte begrense antall oppgaver. Jeg vil likevel anta at en stor del av elevene ville ha mestret en slik oppgavetype. Med andre ord kan mange regne ut bølgelengden, men min undersøkelse viser at det er svært få som har et rimelig meningsinnhold i dette begrepet. Kan hende er det vanskelig å gi dette begrepet en mening for elever på dette nivået, men da må vi også akseptere at det å regne ut bølgelengder av denne typen ved hjelp av deBroglies relasjon, er bokstavelig talt **meningsløst**.

- *Bølge-partikkel-dualismen aksepteres i større grad for lys. Dualismen er imidlertid ikke forstått særlig godt.*

Elevene aksepterer i større grad at lys både er partikkel og bølge på en gang. Dette noe mystiske budskapet aksepteres mer eller mindre uten videre. Argumentene som et slikt syn hviler på, er svakt forstått. Resultatet er altså en løst formulert dualisme som jeg antar

reflekterer at idéen om dualisme er svakt integrert i resten av kunnskapsstrukturen. Det hadde imidlertid vært nødvendig med mer poengterte oppgaver, muligens også intervjuer med oppfølgingsspørsmål, for å få kartlagt dette grundigere.

Modellbegrepet er sentralt i en forståelse av bølge-partikkel-dualismen. Uten et reflektert forhold til modeller generelt kan man ikke forvente at eleven ser at denne dualismen er et redskap for å kommunisere innholdet i kvantefysikken. Dersom man ikke innser at bølgemodellen og partikkelmodellen benyttes hver for seg for å forklare ulike fenomener, vil man kunne risikere å utvikle alternative forestillinger som f. eks. at lys er partikler som beveger seg som bølger, eller andre forestillinger hvor man lager en miks av disse to modellene. I denne undersøkelsen er det svært få elever som uoppfordret drøfter modellbegrepet. I sine svar antyder mange elever at de har et naivt realistisk syn på naturen hvor det er en uproblematisk korrespondanse mellom modell og virkelighet. Særlig gjelder dette elektronet som anses som en svært konkret størrelse.

Våre elever bruker ikke uoppfordret sannsynlighetsbegrepet for å forklare bølgeegenskapene til elektroner f. eks. i interferensforsøk.

4.6 Heisenbergs usikkerhetsrelasjon

En oppgave som sjekket elevenes forståelse av Heisenbergs usikkerhetsrelasjon, ble gitt i forsøkstesten til TIMSS som ble gjennomført i Sverige og Norge i 1993. Den var ikke med i den endelige TIMSS-testen, men den var med i min test våren 1999.

4.6.1 Presentasjon av oppgave 12 og oppgavens bakgrunn

Denne oppgaven er interessant fordi elevene som deltok på forsøkstesten i 1993, hadde fulgt et fysikkurs hvor relasjonene for posisjon-bevegelsesmengde og energi-tid var nevnt som pensum i læreplanen som da gjaldt. I den nye planen er imidlertid denne relasjonen ikke nevnt eksplisitt (se kap. 2.2.3). I stedet har det kommet en mer generell formulering om at elevene skal kunne gi eksempler på at kvantefysikk bryter med våre hverdagsforestillinger. Det må likevel nevnes at de to dominerende lærebøkene har med Heisenbergs usikkerhetsrelasjon som et naturlig eksempel på at kvantefysikken bryter med våre hverdagsforestillinger.

Hensikten med å gi denne oppgaven var derfor todelt: I tillegg til å få kartlagt elevers forståelse av Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner, ønsket jeg å se om det var store forskjeller i svarene til elever som har fulgt læreplaner med ulik vektlegging av denne.

Oppgaven som ble gitt var som følger:

-
12. I en klasse ble elevene bedt om å formulere Heisenbergs usikkerhetsrelasjon (uskarphetsrelasjon).

Hvilket av disse forslagene synes du er det beste?

Sett en ring rundt én bokstav

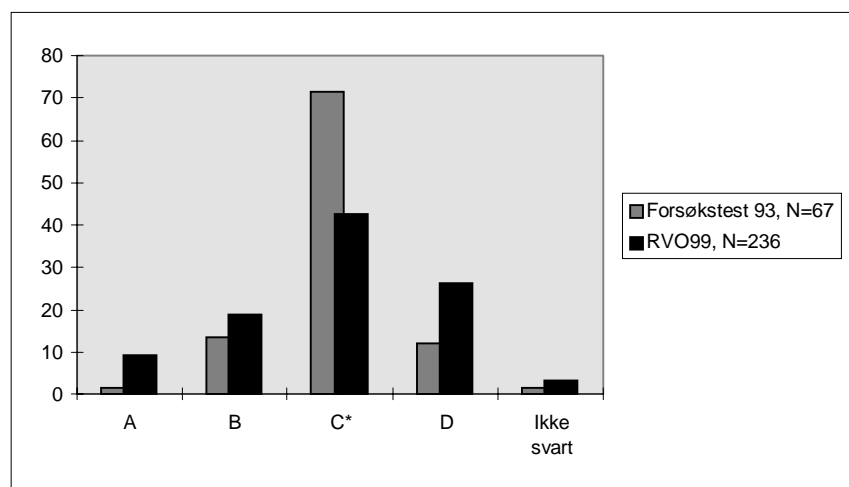
- A. Alt i naturen er usikkert
 - B. Når vi gjør vitenskapelige eksperimenter, vil resultatene aldri bli helt nøyaktige.
 - C. For noen par av fysiske størrelser er det en nedre grense for hvor nøyaktig vi kan måle begge størrelser samtidig.
 - D. Når vi gjør vitenskapelige eksperimenter, må vi alltid ta i betraktning den usikkerhet som skyldes de instrumentene (den apparaturen) vi bruker.
-

Oppgaven er stort sett identisk med oppgaven gitt til forsøkstesten. Den eneste forskjellen er at i forsøkstesten i 1993 ble formuleringen «usikkerhetsprinsipp» benyttet. Dette ble byttet ut for å få ordlyden mer i tråd med det som benyttes i læreverk i dag. Jeg synes det er rimelig å anta at de to oppgaveformuleringene til tross for dette er sammenlignbare.

Det må imidlertid tilføyes at utvalget i forsøkstesten ikke ble valgt ut probabilistisk. Utvalget var også ganske lite (N=67). En indikator på at utvalgene ikke er sammenlignbare er at forsøkstestens utvalg hadde en gjennomsnittskarakter til 1. termin på 3,95, altså noe bedre enn i RVO99 og i TIMSS. Det har derfor liten hensikt å avgjøre om eventuelle forskjeller er signifikante. Istedet vil jeg si at eventuelle store/påtagelige forskjeller er interessante.

4.6.2 Presentasjon og drøfting av resultater på oppgave 12

Figur 4.4 nedenfor viser resultatene i henholdsvis forsøkstesten og i min egen undersøkelse:



Figur 4.4: Prosentvis fordeling på de ulike alternativene på oppgave om Heisenbergs usikkerhetsrelasjon i forsøkstest 93 og RVO99. Det korrekte alternativet er C.

Her ser vi at andelen som svarer riktig på dette spørsmålet (alt. C) har sunket betraktelig fra 1993 til 1999.

Ordet **usikkerhet** er problematisk i denne sammenhengen. I fysikkfaget snakker vi også om usikkerhet i forbindelse med data som er samlet eksperimentelt, altså måleusikkerhet. Det er en slik forståelse av usikkerhet som ligger bak alternativ B og D.

Distraktor A er et alternativ hvor man ukritisk overfører konklusjoner fra fenomener i kvanteverdenen til den makroskopiske verdenen.¹⁰

Alternativ B fokuserer på at når vi gjør målinger av en eller annen størrelse vil det alltid eksistere en spredning i resultatene. Dette er en egenskap ved eksperimentene i seg selv.

I alternativ D fokuseres det mer på selve måleutstyret. Det er ikke urimelig å tolke alternativ D som å representere et syn hvor man kan tenke seg at det vil eksistere bedre utstyr en gang i framtiden. Dagens usikkerhet vil dermed kunne tenkes eliminert i morgen. Dette er også en side ved usikkerhet som ikke er overførbart til den betydningen ordet har i Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner.

¹⁰ Det kan i denne forbindelsen nevnes at Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner har blitt utsatt for en slik ukritisk tolkning i debatter om kvalitative versus kvantitative metoders anvendelser i samfunnsvitenskapelig forskning (Roth 1993 og McKerrow m. fl. 1991).

Alle de gale alternativene velges av langt flere i RVO99. I det hele tatt kan det se ut som om alle alternativene er mer jevnet ut, noe som kan tyde på mer gjetting. Dette kan vi kanskje tolke som at elevene er mer usikre på innholdet i denne viktige relasjonen. Etter min mening er dette et interessant funn som kan indikere at det ikke legges like stor vekt på Heisenbergs usikkerhetsrelasjon i dagens fysikkurs. Dette til tross for at relasjonene nevnes i to av læreverkene, og den kan sies å bli behandlet relativt grundig i ett av dem (se tabell 2.2, kap. 2.2.4). I forbindelse med høringen av den nye læreplanen i fysikk (og i de andre fagene som fikk nye læreplaner), uttrykte noen misnøye med at presisjonsnivået hadde blitt svakere (Ekern 1995). Denne oppgaven indikerer at en slik bekymring kan være berettiget.

4.7 Atommodeller

To oppgaver fokuserer på elevers egne modeller av atomet. Vi har allerede sett at tidligere undersøkelser har vist at mange har en klassisk forestilling av atomet. I sin aller enkleste form er dette en naiv planetarisk modell hvor elektronene i atomet ses på som en planet i bane rundt solen. Oppgave 10 har til hensikt å direkte drøfte denne analogimodellen. I oppgave 11 ser vi på hvilke modeller elever foretrekker når de kan velge mellom flere.

4.7.1 Presentasjon og drøfting av resultater på oppgave 10

Oppgaven var som følger:

Denne oppgaven tar utgangspunkt i følgende påstand: «Atomets oppbygging kan sammenlignes med hvordan solsystemet ser ut.»

Drøft denne påstanden.

I analysen av elevenes svar så jeg først på om eleven fokuserte på likhetene i en slik sammenlikning eller om de problematiserte sammenlikningen noe. Går vi tilbake til problemstillingen for mitt arbeid, ser vi at jeg ønsker å se på om elevenes atombegrep i noen grad kan sies å være forenlig med kvantefysikk. I denne oppgaven vil jeg i utgangspunktet forvente at en elev som har klart å bygge seg en kvantefysisk forståelse av atomets struktur og oppbygging, ville fokusere på noen sentrale problematiske ulikheter. Tabellen 4.16 nedenfor er et forsøk på å vise hva elevene først og fremst fokuserte på i sine svar.

Fokus i oppgaven	Andel
Enkle likheter	41
Enkle likheter/ulikheter	29
Enkle likheter/problematiserende ulikheter	20
Misforstått oppgaven	2
Ikke svart	9

Tabell 4.16: Tabellen viser hva som var i fokus i elevenes besvarelser av oppgave 10. Andel er i prosent. $N = 236$.

Der typiske elevsvaret er altså kun fokusering på helt enkle likheter i sammenlikningen. Et eksempel kan illustrere dette:

Atommodellen kan minne om hvordan solsystemet ser ut. Kjernen er sola, og planetene går rundt i bane som elektronene. Dette er bare en modell. Og man vet at

et atom ikke ser sånn ut. Man vet ikke hva et atom eller elektron egentlig er, man kan bare si mye om hvordan det fungerer og reagerer.

(Elev 5-11)

Eleven åpner riktignok for at dette er bare en sammenlikning og at atomet ikke ser slik ut, men han/hun konkretiserer ikke dette noe nærmere.

Vi ser av tabell 4.15 at en stor gruppe elever også tilføyde noen enkle ulikheter mellom atomer og solsystemet. Et eksempel kan illustrere hva vi legger i enkle ulikheter:

På en måte er det riktig: Rundt sola kretser mange mindre planeter (bl. a. jorda) i forskjellige baner. Planetene holder seg rundt sola pga gravitasjonskrefter. Rundt atomkjernen kretser elektroner. De blir tiltrukket av magnetiske krefter. Atomkjernen er positivt ladet og kjernen er negativ. Atomet er mye mindre enn solsystemet, men nesten som et solsystem i miniatyr. Forskjellen er at det ikke i hovedsak er gravitasjonskreftene, men de magnetiske kreftene som virker i atomet.

(Elev 1-1)

Andre enkle ulikheter som nevnes er at planetene beveger seg i ellipser, mens elektronene beveger seg i sirkler. Dessuten kan elektroner lettere skifte bane, noe som ikke planetene kan. Det kan dessuten eksistere flere elektroner i samme skall/bane, mens det bare er en planet i hver bane. Disse ulikhetene har blitt kalt enkle fordi de ikke fremhever noen fundamentale ulikheter. I bunn og grunn pekes det på at denne sammenlikningen gir et godt bilde av hvordan et atom ser ut. Jeg antar derfor at elevene som har havnet i disse to kategoriene, som er mer enn $\frac{3}{4}$ av alle de som besvarte oppgaven, for en stor del ikke har en forestilling om atomet som kan sies å være forenlig med kvantefysikk. I kap. 4.8 presenteres en korrekthetsanalyse. Jeg velger å forskuttere denne litt ved å vise til tabell 4.20 som viser at få elever svarer korrekt på denne oppgaven.

Fokusering på problematiske ulikheter vil si at mer grunnleggende problemer med en slik enkel sammenlikning står i sentrum av besvarelsen. Typiske utsagn her kan være:

...Men nyere forskning har delvis forkastet skallmodellen over. Det nyeste er elektronskymodellen. Men også her har elektronene energinivåer som kan sammenliknes med planetens baner. Hvilken modell som velges, kommer an på hva man vil undersøke. Det er derfor vanskelig å gi et entydig svar.

(Elev 3-3)

...Elektronene går ikke i faste baner, men i noen baner er de «oftere». Det er ikke tilstrekkelig å si at elektronene går i enkelte nivåer, det er mer som en elektronsky. Plasseringen kan ikke forutses.

(Elev 4-16)

I disse svarene blir en slik enkel planetarisk modell konfrontert med elektronskymodellen. Noen elever (f. eks. elev 4-16 ovenfor) forsøker å forklare denne modellen ved å peke på at man ikke lenger kan tenke seg en fast bane som elektronet beveger seg i. I denne forbindelsen omtaler også noen få en tolkning av denne skyen som et bilde på sannsynligheten for å finne elektronet i ulike posisjoner.

Det er i denne gruppen man finner elever som kan sies å ha gitt et svar som indikerer at de har en forestilling av atomet som er forenlig med kvantefysikken. Det er altså kun 1 av 5 som kan sies å ha et forhold til atommodeller som kan sies å være delvis tilfredsstillende sett fra et kvantefysisk ståsted.

Jeg har også for denne oppgaven sett på om elevene i sine svar eksplisitt drøfter at vi her snakker om ulike modeller av virkeligheten. Denne analysen presenteres i tabell 4.17 nedenfor.

Beskrivelse	Andel
Ingen drøfting av modellbegrepet	62
Modellbegrepet nevnes	17
Det foretas en drøfting med modellbegrepet i sentrum	12
Ikke svart	9

Tabell 4.17: Drøfting av modellbegrepet i oppgave 10. Andelen er oppgitt som prosent. $N = 236$.

I denne oppgaven er det altså kun 12% av elevene som lar begrepet atommodell være i sentrum av en slik drøfting. Elev 3-3 og 5-15 som er sitert ovenfor er to eksempler på svar hvor modellbegrepet er sentralt.

Vi kommer tilbake til innholdet i disse svarene i avsnitt 4.7.3 i forbindelse med en sammenlikning med neste oppgave.

4.7.2 Oppgave 11

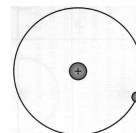
Dette er en flervalgsoppgave som også dreier seg om elevers forestilling av atomet:

Nedenfor står det noen beskrivelser (med tilhørende figurer) av elektronet i et hydrogenatom.

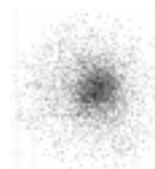
Hvilken av disse passer best med hvordan du ser for deg dette?

Sett en ring rundt én bokstav.

- A. Elektronet beveger seg rundt atomkjernen i en bestemt sirkelbane med høy hastighet.

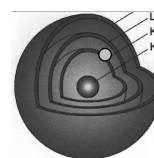
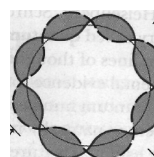


- B. Elektronets posisjon på et gitt tidspunkt er helt ubestemt og kan derfor ikke visualiseres.

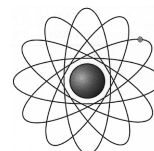


- C. Elektronets posisjon på et gitt tidspunkt kan beskrives av en elektronsky

- D. Elektronet beveger seg rundt atomkjernen langs en bølgeformet sirkelbane.



- E. Rundt atomkjernen er det flere elektronskall som elektronet kan være i. Når atomet er i grunntilstanden vil elektronet være i det innerste skallet.



- F. Elektronet følger en sirkelbane som hele tiden dreier.

Elevene måtte altså velge en av disse modellene, den som passet med hvordan eleven selv så for seg et hydrogenatom. Det er viktig å merke seg at dersom man sammenligner denne oppgaven med flervalgsoppgaver i TIMSS, så ser man at den ikke består av ett «riktig» og flere «gale» valg. Det er imidlertid noen som kan sies å være bedre enn andre. Spørsmålsformuleringen var bevisst formulert med tanke på dette. For en nærmere vurdering av de ulike alternativenes «korrekthet» viser jeg til kap. 4.8.1. Tabell 4.18 viser hvordan svarene fordelte seg på de ulike alternativene.

Svaralternativ	Andel
A	3
B	9
C	37
D	1
E	31
F	16
Ikke svart	1
Umulig å tolke sikkert	3

Tabell 4.18: Prosentvis fordeling av svar på oppgave 11.

Elektronskymodellen er den som velges av flest elever. Det er ett læreverk, RST, som tar opp denne eksplisitt i forbindelse med kvantefysikken i 3FY. Elevene som har dette læreverket er overrepresentert blant de som valgte dette alternativet. Over 50% av elevene som hadde RST som læreverk valgte denne modellen. For de to andre læreverkene var denne andelen ca. 30%.

Vi ser ellers at den konkrete skallmodellen (alt. E) velges av mange. For dette alternativet er det også ett læreverk som skiller seg ut, nemlig Ergo. 40% av elevene som brukte dette læreverket valgte dette alternativet. For de andre læreverkene var andelen 15-20%. Denne forskjellen er vanskelig å forklare ut fra innholdet i læreverkene. Det var meningen at dette alternativet skulle fange inn en modell hvor skallene i seg selv eksisterte. Fischler og Lichtfeldt (1992a) har vist at flere elever synes å ha idéer om et slik fysisk eksisterende eller réelt skall. Jeg valgte å fjerne elevenes mulighet til å begrunne sitt valg fordi pilottesten viste at det var et rimelig samsvar mellom valget og begrunnelsen (jfr. kapittel 3.4.6). Andelen som valgte en slik skallmodell er imidlertid mye høyere for utvalget i den endelige testen, og det er usikkert om man kan slutte at alle disse har en forestilling om et fysisk skall. En indikasjon på at dette ikke er tilfelle er elevenes svar på oppgave 10. Slik denne oppgaven var formulert var

ikke eksistensen av eventuelle skall i sentrum av spørsmålstillingen, men det var mulig å trekke dette inn i drøftingen. Ingen elever gjorde det.

Likeledes er den planetariske modellen som dreier (alt. F) valgt av relativt mange, mens den noe enklere planetariske modellen (alt. A) velges av få. Ut fra elevenes besvarelse av oppgave 11, var det relativt overraskende at ikke flere elever valgte en av disse to distraktorene.

Noe av det som imidlertid er mest overraskende er at nesten 10% av elevene sier at de ikke har en visuell modell av hvordan et H-atom ser ut. Etter å ha sett illustrasjoner av atomer i mange år, både i skolen og i media, vil disse elevene ha oss til å tro at de selv «ser for seg» at atomet ikke er visualiserbart, hva nå dette skal bety. Det kan hende at dette velges fordi ordet visualiserbart oppfattes som komplisert og at det dermed har en «vitenskapelig» klang?

4.7.3 En sammenlikning av elevenes svar på de to oppgavene

Jeg har sammenliknet samme elevs svar på oppgavene 10 og 11. Hensikten med dette har vært å se om elevene er konsistente i sine svar på disse oppgavene. Tabell 4.19 nedenfor viser at det

Ikke samsvar	36
Klart samsvar	40
Uklart samsvar	15
Ikke svart på en eller begge oppgaver	10

Tabell 4.19: Samsvar mellom oppgave 10 og 11.

ikke er et entydig samsvar mellom de atommodellene som elevene har valgt i oppgave 11 og det svaret de ga på oppgave 10. Hva årsaken er til en slik mangel på sammenheng i samme elevs svar er uklart. Det kan være at oppgavene er så ulikt formulert at de i seg selv vil føre til at de besvares ulikt. Det er også sannsynlig at denne mangelen på samsvar skyldes at en elev godt kan ha og bruke flere atommodeller avhengig av kontekst. Det er rimelig at en elev gir et svar som samsvarer med en planetarisk modell i oppgave 10 hvor eleven nettopp skal sammenlikne med solsystemet, mens samme elev velger seg en annen modell når han/hun kan velge mellom flere (som ikke sees i forhold til en bestemt kontekst) i oppgave 11. Vi nevnte i kap. 2.3.2 at Bremen-gruppen har vist at samme elev gjerne beholder flere mulige atommodeller. De ulike modellene har imidlertid ulik status og styrke (Petri m. fl. 1998).

4.7.4 Vurdering av oppgave 10 og 11

For begge oppgavene kan det sies at elevenes svar kunne vært fulgt opp med intervju av noen elever. Dette kunne ha fungert som en hjelp i forbindelse med tolkning av oppgavene. Det er blant annet en veldig stor andel av elevene som synes at sammenlikningen som gjøres i oppgave 10, er helt grei. De problematiserer overhodet ikke denne analogien. Det kan tenkes at dette delvis er et resultat av oppgaveformuleringen. Jeg vil anta at flere elever ville være i stand til å komme med kritiske bemerkninger dersom de hadde blitt bedt eksplisitt om dette. Dermed kunne også kanskje samsvaret med oppgave 11 blitt større.

Oppgavene er ikke satt i noen spesiell kontekst. Det kunne vært prøvd ut alternative oppgaver der man relaterte atommodeller til ulike kontekster, f. eks. ved tolkning av ulike fenomener som kjemisk binding, absorpsjon/emisjon av stråling m.m.

For oppgave 11 gjelder at distraktor B burde vært utelatt. Elevene blir spurt om hvordan de ser for seg et H-atom, og det burde derfor resultere i en visuell modell. Det hadde også vært interessant å se hvordan resultatet på oppgaven hadde blitt med ulike formater. Man kunne f. eks. ha utelatt enkelte distraktorer for å se hvordan dette ville påvirket utfallet. Et annet format som kunne tenkes, ville være å la elevene ha sjansen til å velge flere alternativer ved å angi en prioritet for noen av disse.

Et opplagt alternativ til dette formatet ville være å la elevene selv tegne og forklare hvordan de så for seg at et H-atom ser ut. Jeg synes ikke det er urimelig å anta at flere ville ha valgt å tegne en planetarisk modell dersom de skulle ha tegnet selv.

4.7.5 Oppsummering av oppgavene om atommodeller

Hvis jeg tvinges til å oppsummere resultatene av disse oppgavene i en setning, vil jeg noe generelt si at:

- *En mekanistisk oppfattelse av atomet er utbredt.*

Det er som sagt vanskelig å sammenlikne disse resultatene med det som andre har funnet (se kap. 2.3.2). Oppgavene har hatt ulike formater, og det er rimelig å anta at resultatene vil være sterkt preget av ulike formater.

Et eksempel på at resultatene ikke kan sammenliknes direkte, er den relativt lave andelen av elever som i min undersøkelse velger en enkel planetarisk modell. I andre undersøkelser har man bedt elevene om å tegne et H-atom. Det er ikke urimelig å anta at flere elever vil tegne et planetarisk H-atom. Dette kan skyldes flere ting. Det er en modell som er lett å illustrere. Å tegne f. eks. en skymodell er vanskeligere, og krever noe mer innsats. Det kan også skyldes at dette er den modellen de fleste har sett tegnet gjentatte ganger i lærebøker og andre kilder i alle år. Jeg valgte derfor ikke å la elevene tegne selv. Dette medfører imidlertid at det er vanskelig å sammenlikne mine resultater med andre undersøkelser. Det er et slik format Bremen-gruppen har benyttet (Petri m. fl. 1998, Niedderer m. fl. 1990 og 1999). De rapporterer at denne modellen er foretrukket av mange elever.

Fischler og Lichtfeldt (1992a og b) spurte elevene om hvorfor et atom er stabilt. I disse svarene finner de også at mange har en mekanistisk planetarisk modell hvor bl. a. et begrep som «sentrifugalkraft» benyttes. De finner dessuten at flere elever nevner et fiksert skall som elektronene befinner seg på. Det er derimot ingen som kategoriseres som å ha en forestilling om atomet som en elektronsky, noe som var den største kategorien i min oppgave 11. Dette er nok for en stor del en konsekvens av det spørsmålet som stilles, både innhold og format. Det er ikke veldig vanskelig å gi en plausibel/logisk forklaring av et atoms stabilitet ved å bruke kunnskap om sirkelbevegelse, men det er mye vanskeligere å argumentere for at et atom er stabilt ut fra en elektronskymodell. De ulike modellene benyttes jo i ulike sammenhenger for å forklare ulike sider ved atomene.

Det må også tilføyes her at det ville vært vanskelig å stille et slik spørsmål til våre elever fordi atomets stabilitet ikke behandles på noen grundig måte i våre kurs. Det er ikke en sentral del av pensumet i 3FY. En slik oppgave kunne derfor ikke benyttes i min undersøkelse fordi et av kriteriene var at oppgavene skulle kunne brukes som en liten repetisjon fram mot eksamen.

I en slik sammenlikning kan vi derfor ikke si annet enn at noen av de samme forestillingene synes å eksistere hos våre elever. Det er kanskje ikke de samme forestillingene som dominerer. Det man kan si som er litt mer generelt, er at min undersøkelse, som alle de undersøkelsene jeg viser til i kap. 2.3.2, viser at store grupper av våre elever har en mekanistisk forståelse av atomets oppbygging og struktur. Alternativene A, E og F velges av mer enn halvparten av alle elever, og alle disse må sies å representere en forståelse av atomet hvor elektronet er en partikkel. Den er lokalisert, og den følger en bane rundt atomet.

Vi kan også slutte at meta-analyser av den forskning som er gjort, er komplisert fordi det har blitt benyttet ulike spørsmålsformuleringer og formater. Det er imidlertid en fordel at ulike spørsmålsformuleringer har blitt benyttet. Dette gjør det mulig å vurdere hvilken innvirkning formatet har hatt å si for svarene.

Jeg velger derfor å etterlyse et større prosjekt knyttet til elevers forståelse av atomer. I et slik prosjekt bør man undersøke ulike aldersgrupper, prøve ut ulike oppgaveformater, utprøve oppgaver med ulikt innhold/knyttet til ulike kontekster og benytte flere metoder for datainnsamling. Atommodeller er sentralt i naturfagpensum i alle land, og i mange aldersgrupper. Til tross for dette vet vi lite om hvordan elevene forestiller seg atomer.

4.8 Korrekthetsanalyse av hele testen

Alle oppgavene har i tillegg blitt vurdert langs en gal/riktig dimensjon. Det er utviklet et poengssystem. Dette poengssystemet prøver ikke å vekte oppgavenes betydning i forhold til hverandre. Det er imidlertid noen oppgaver som belønnes med maksimalt 2 poeng og andre som belønnes kun med ett poeng. Begrunnelsen for dette er at i noen oppgaver er det naturlig å markere delvis riktige svar. Det trengs derfor en inndeling med tre tallverdier (0, 1 og 2). I oppgaver hvor det kun er riktig/galt er det ikke behov for mer enn 0 og 1. Håpet er at totalsummen skal kunne besvare spørsmål som «I hvilken grad er elevens forestillinger forenlige med kvantefysikken?» eller «Hvor god er elevens forståelse av kvantefysikk?».

4.8.1 Presentasjon av kriteriene for poenggivning

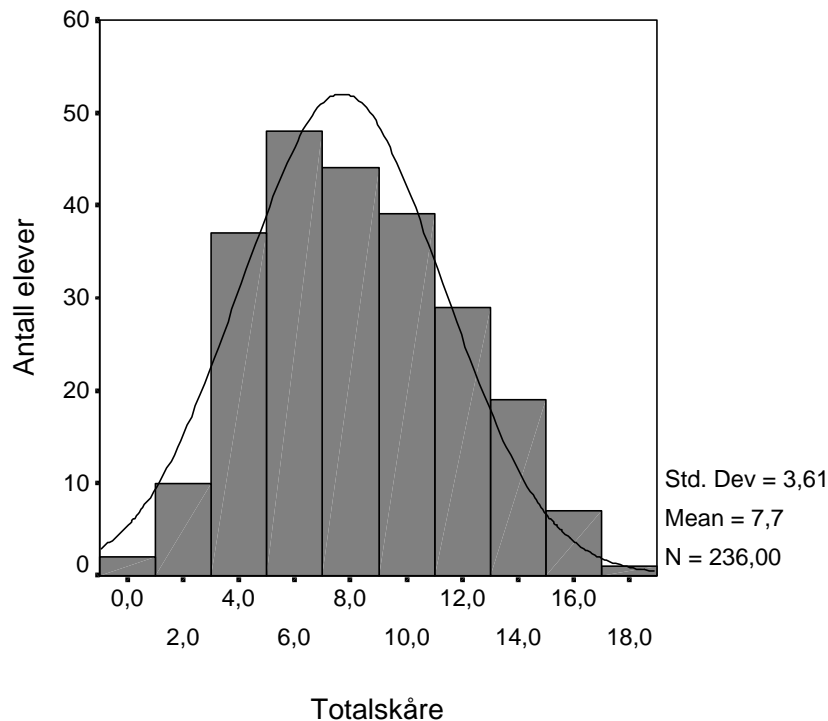
Tabellen nedenfor (fortsetter på neste side) forteller hvor mange poeng som har blitt tilkjent de ulike oppgavene. Kriteriene som er benyttet er også skissert.

Oppgave	Kriterium	Gjennom snittlig skåre	Normert skåre (p- verdi)
4a	Flervalgsdelen av oppgave 4: <ul style="list-style-type: none">• 2p. for alt E• 1p. for alt A og C	0,98	0,49
4b	Begrunnelsen i oppgave 4: <ul style="list-style-type: none">• 2p. for en begrunnelse som vektlegger modelltenkning, gir relevante eksempler og som ikke har faglige feil.• 1p. for en begrunnelse som inneholder relevante eksempler	0,87	0,44
5a	Flervalgsdelen i oppgave 5: Poeng som for 4a	0,42	0,21
5b	Begrunnelsen i oppgave 5: Poeng som for 4b	0,63	0,32
6	<ul style="list-style-type: none">• 2p. for alt. D• 1p. for alt. C	1,30	0,65
7	<ul style="list-style-type: none">• 2p. for korrekte svar (kode 20-29)• 1p. for delvis korrekte svar (kode 10-19) Se tabell 4.7 for beskrivelse av koder	0,95	0,48
8	1p. for alt. A	0,67	0,67
9	Som for oppgave 7 Se tabell 4.14 for beskrivelse av koder	0,40	0,20
10	<ul style="list-style-type: none">• 2p. for en drøfting med vekt på problematiserende ulikheter som tyder på en kvantemekanisk forståelse• 1p. for en drøfting med antydning av slike problemer i en slik analogi	0,60	0,30
11	1p. for alt B og C	0,45	0,45
12	1p for alt. C	0,42	0,42

Tabell 4.20: Oversikt over kriterier knyttet til en korrekthetsvurdering av oppgavene, samt gjennomsnittet for hver av oppgavene. Dette gjennomsnittet er også normert slik at full skåre på oppgaven tilsvarer 1 poeng.

4.8.2 Fordeling av totalskåre. Skåregrupper

Figur 4.5 nedenfor viser fordelingen i totalskåre. Det er mulig å få 19 poeng. Gjennomsnittet er i underkant av 8 poeng, altså mindre enn halvparten korrekt. Fordelingen er derfor noe skjev mot venstre i forhold til normalfordelingen.



Figur 4.5: Histogram for totalskåre. Kurven som vises er en normalkurve.

Jeg har også delt elevene inn i tre grupper avhengig av hvor stor skåre de har.

Skåregruppe	Kriterium	Antall	Andel
1	Totalskåre ≤ 5	79	33%
2	$6 \leq \text{Totalskåre} \leq 10$	101	43%
3	Totalskåre ≥ 11	56	24%

Tabell 4.21: Kriterier for inndeling i skåregrupper og størrelsen på gruppene.

Disse gruppene brukes nedenfor for å beskrive noen av resultatene.

4.8.3 Oppgavenes diskrimineringsevne

Jeg har sett på hvordan skåren er på de ulike oppgavene for de tre skåregruppene.

Oppgave	Normert gjennomsnitt skåregruppe 1	Normert gjennomsnitt skåregruppe 2	Normert gjennomsnitt skåregruppe 3	Korrelasjon med totalskåre
4a	0,45	0,49	0,53	0,23
4b	0,17	0,49*	0,70*	0,63
5a	0,09	0,22*	0,35*	0,41
5b	0,03	0,33*	0,68*	0,72
6	0,50	0,64*	0,87*	0,35
7	0,13	0,53*	0,85*	0,62
8	0,19	0,38*	0,43	0,38
9	0,03	0,17*	0,50*	0,58
10	0,07	0,24*	0,72*	0,67
11	0,12	0,25*	0,33	0,34
12	0,09	0,22*	0,36*	0,39

Tabell 4.22: Normert gjennomsnittskåre for de tre skåregruppene på hver av oppgavene. Normert vil si at alle oppgavenes gjennomsnittskåre representeres av et tall mellom 0 og 1. I kolonnen for skåregruppe 2 er noen tall markert med stjerne. Dette betyr at forskjellen i gjennomsnittet for skåregruppe 1 og 2 er signifikant for denne oppgaven. Tilsvarende er signifikante forskjeller mellom skåregruppe 2 og 3 markert med stjerne i kolonnen med skåregruppe 3.

Forskjellene i skåre for de tre gruppene er til dels store og signifikante. For alle oppgavene gjelder det at forskjellen mellom skåregruppe 1 og 3 er signifikante. I tillegg ser vi av tabellen at oppgave 4b, 5a, 5b, 6, 7, 9, 10 og 12 har signifikante forskjeller mellom alle skåregrupper. Dette betyr at disse oppgavene skiller godt mellom ulike elevgrupper. Vi sier at oppgavene diskriminerer godt. Oppgave 8 og 11 diskriminerer godt mellom skåregruppe 1 og 2, men ikke mellom 2 og 3. Den oppgaven som skiller seg ut som dårlig i denne sammenhengen er oppgave 4a.

Vi ser også at alle oppgavene korrelerer positivt med totalskåre. Alle disse korrelasjonene er signifikante.

Vi har tidligere sammenlignet oppgave 4 og 5. Dette er naturlig fordi oppgavene er så like i innhold og format. Det eneste som skiller den ene fra den andre, er at oppgave 4 handler om lys og oppgave 5 om elektroner (se vedlegg 1). Vi ser at skåre på oppgave 5 er betydelig lavere enn skåre på oppgave 4. Dette skyldes at elektroner oppfattes i større grad som partikler, mens lys i større grad beskrives som å ha en dualistisk natur. Dessuten er begrunnelsene til oppgave 4 mer preget av modelltenkning og det nevnes flere og bedre eksempler som skal underbygge et dualistisk syn på lyset. For oppgave 5 er det typisk at elektroner oppfattes som partikler, og dette trenger ingen dypere refleksjon.

4.8.4 Reliabilitet

Vi ser generelt at vanskegraden varierer på oppgavene (se tabell 4.20). Noen har så lav p-verdi at de innenfor en testteoretisk tradisjon ikke kan sies å være gunstige. For at settet som helhet skal fungere som en god psykometrisk test av et underliggende construct, bør oppgavene ha middels vanskegrad, dvs p-verdier rundt 0,5 (Angell 1996). Det er imidlertid også ønskelig med noen lette oppgaver som diskriminerer mellom de aller svakeste og resten, og noen vanskelige oppgaver som diskriminerer godt mellom de flinkeste og resten. Vi ser av tabell 4.22 at diskrimineringsnivået til de fleste oppgaver er tilfredsstillende

Det har også blitt gjennomført en reliabilitetstest med beregning av Cronbach $\alpha = 0,69$. Korrelasjonen mellom oppgavene er svak, men stort sett positiv. Oppgave 4a og 6 har negative korrelasjoner med flere andre oppgaver og Cronbach α ville vært høyere dersom oppgave 4a og oppgave 6 hadde vært utelatt. Jeg velger å beholde oppgavene fordi jeg anser innholdet i dem for viktig, det vil si at jeg prioriterer innholdsvaliditeten til testen framfor reliabiliteten. Tolkningen av α er altså at 69% av variansen i totalskåre er sann varians, mens de resterende 31% er varians som skyldes tilfeldigheter i elevenes svar knyttet til utvalget av oppgaver til testen. Denne variansen er relativt stor, og ville vært uakseptabel for en test der man skal fatte beslutninger på individnivå basert på testens skåre. I tillegg kommer tilfeldigheter knyttet til sensureringen av svarene som ikke har blitt målt (sensorreliabilitet).

I denne sammenhengen indikerer imidlertid denne koeffisienten at det kan eksistere et underliggende construct som er styrende for elevenes svar på oppgavene. Hva dette eventuelt skulle være, og om det er kun ett eller flere construct som er aktive, kan man imidlertid ikke slutte ut fra en så enkel test. Avslutningsvis i denne debatten om reliabiliteten, vil jeg minne om at spørreskjemaet ikke ble designet for å være en reliabel test, men heller en samling av enkeltoppgaver som skulle brukes diagnostisk.

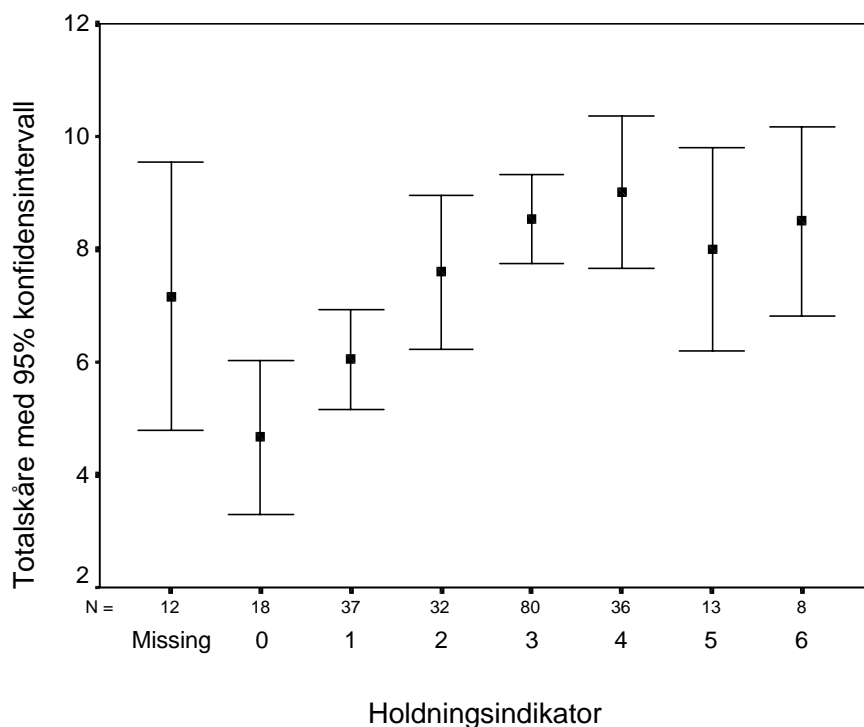
4.8.5 Totalskåre vs holdningsindikator

Jeg beskrev i kap. 4.2 hvordan vi kan beregne en holdningsindikator på grunnlag av tre av spørsmålene i elevenes spørreskjema. Figur 4.6 på neste side viser sammenhengen mellom denne indikatoren og totalskåre.

I denne figuren er det slik at 0 representerer en ekstremt negativ holdning til kvantefysikk relativt til resten av faget, og 6 representerer en ekstremt positiv holdning. Vi ser at det ikke er signifikante forskjeller mellom nabogrupper her, men vi ser likevel en klar tendens til at elever med en negativ holdning har lavere skåre på testen enn elever med nøytral til positiv holdning. Disse ulikhetene er signifikante mellom noen av gruppene. Vi ser f. eks. at det er signifikante forskjeller mellom de som har en holdning på 0-1 og de som har 3-4. At en slik tendens eksisterer er muligens selvfølgelig. Den samme tendensen vises også i de norske TIMSS-resultatene (Angell m. fl. 1999).

Til tross for at dette er selvsagt, skal vi alltid ha det in mente. Å arbeide med holdninger til faget er viktig. Det er derfor viktig at elevene får føle undring, mestring og glede også i fysikktimene. Det er ikke noen enkle fasitsvar på hvordan vi kan oppnå dette. Av egen erfaring vet jeg at det er ulike typer elever i fysikkgruppene. Noen synes det er forsøk som gjør faget morsomt, andre synes regning er gøy (når de får det til selvsagt), andre er interessert i mer filosofiske spørsmål og undring over hverdagsfenomener. Uansett hva fasitsvaret er, mener jeg derfor at variasjon i arbeidsmåter, oppgavetyper etc. er helt sentralt for å nå flest

mulig elever. Jeg er dessuten av den mening at lærerens engasjement er veldig smittsomt. Å ta vare på og dyrke dette engasjementet blant lærerne er derfor også viktig.



Figur 4.6: Sammenhengen mellom holdning og totalskåre. Linjene representerer 95% konfidensintervall.

4.8.6 Totalskåre og kjønn

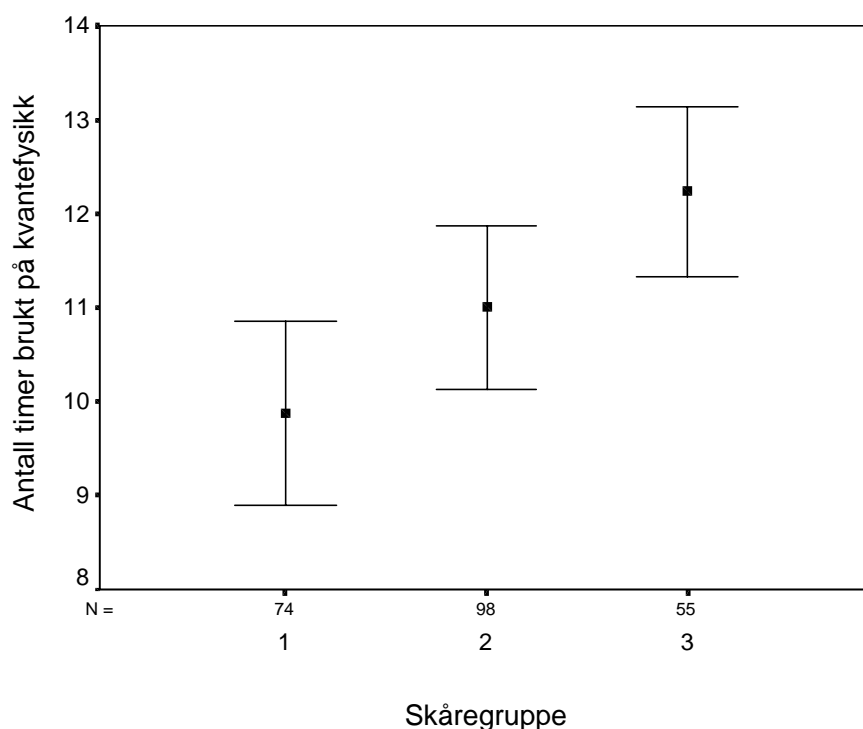
Det er ellers verdt å merke seg at det ikke er en signifikant forskjell mellom gutter og jenter i totalskåre. Dette er et avvik i forhold til TIMSS (Angell m. fl. 1999). I min undersøkelse gjør faktisk jentene det litt bedre enn guttene, men forskjellen bør altså ikke tillegges noen vekt. Grunnen til at jentene gjør det relativt bra i denne testen, kan være at oppgavene bærer fellestrekk med de oppgavene man i TIMSS har døpt til jenteoppgaver. Dette var oppgaver hvor jentene skåret bedre enn guttene i Norge. Dette var veldig varierende oppgaver fra ulike felt, men de hadde det til felles at de ikke hadde noen hverdagstilknytning. Dette kan også sies om oppgavene i RVO99. En av jenteoppgavene fra TIMSS var også med i denne testen (oppgave F7 i TIMSS, oppgave 6 i RVO99).

For enkeltoppgavene gjelder det samme. Forskjellene i gjennomsnittet for gutter og jenter var små, og med unntak av en oppgave (4a) var de ikke signifikante.

4.8.7 Skåregruppe og undervisningstid

Vi så i kap. 4.3.1 at det var betydelige forskjeller i undervisningstid brukt på denne delen av fysikken. Figur 4.7 på neste side viser sammenhengen mellom skåregruppe og undervisningstid. Figuren viser at det tilsynelatende er en signifikant forskjell i undervisningstid mellom elever i skåregruppe 1 og elever i skåregruppe 3. Forskjellen er på ca. 2 timer. Når jeg skriver tilsynelatende skyldes dette at jeg som sagt har spurt lærerne om

undervisningstiden. Enheten her er derfor klassen, og $N = 20$. De konfidensintervallene som vises i figuren er beregnet ut fra elevtallet, altså $N = 236$.



Figur 4.7: Sammenhengen mellom skåregruppe og antall timer brukt på kvantefysikken. Linjene representerer 95% konfidensintervall. Eleven er her enhet i analysen, altså $N = 236$.

4.8.8 Oppsummering av korrekthetsanalysen

Denne korrekthetsanalysen viser at reliabilitetskoeffisienten er lav når vi sammenlikner med en del andre undersøkelser. Angell og Lie (1993) har f. eks. vist at Cronbach α ved eksamen typisk er på ca. 0,9. I TIMSS var den på 0,76 (Angell 1996). Å sammenligne reliabilitetskoeffisienten til så ulike undersøkelser er av begrenset interesse. Både TIMSS og eksamensoppgavene har for det første langt flere oppgaver. Dette bidrar til å øke koeffisienten. Eksamensoppgavene er i tillegg av en type som er velkjent og de har utgangspunkt i en definert fagplan. Dette reduserer utfallsrommet for mulige oppgaver, noe som igjen bidrar til å øke Cronbach α som jo er et mål på nettopp hvor godt oppgavene på testen representerer alle mulige oppgaver (Angell m. fl. 1993) (se også kap. 3.1.2).

Vi ser imidlertid at oppgavene diskriminerer godt mellom de ulike skåregruppene. Dette forteller oss at oppgavene fungerer godt for å skille mellom sterke og mindre sterke elever. Den positive korrelasjonen mellom alle deloppgavene og totalskåre viser også at alle oppgavene i varierende grad diskriminerer mellom sterke og svake elever.

Denne poenggivningingen er ikke selvsagt. Det kunne vært gjort små forandringer som kunne endret poengsummene betydelig. Man kunne f. eks. tenke seg at man ga 1p. også for et valg av distraktoren som sier at elektroner er partikler i oppg. 4. Dette er ikke et helt urimelig syn, og noen vil kanskje si at det er det beste alternativet (Hood 1993). Imidlertid har jeg vurdert at valget av dette alternativet ikke antyder en forståelse som viser et kvantemekanisk element. Man kunne også tenke seg et poengsystem hvor hver oppgave gis vekt på samme måte som ved fysikkeksamen. Oppgaver som i større grad tester forståelse og som krever større

arbeidsinnsats av elevene, blir til eksamen belønnet med flere poeng enn andre mindre oppgaver.

Jeg vil konkludere med at variabelen totalskåre er meningsfull. Den manglende reliabiliteten skyldes først og fremst at antallet oppgaver var få. De oppgavene som var med, viste seg imidlertid å fungere godt ved at de hadde god diskrimineringsevne.

5 Sammenfatninger av funn og konsekvenser for undervisning.

Jeg gir i kapittel 5.1 en sammenfatning av funn. Dette vil for en stor del være omformuleringer og gjentakelser fra kapittel 4. Hensikten er imidlertid å få samlet funnene for å se om det er mulig å gi en overordnet beskrivelse. I kapittel 5.2 reflekterer jeg over mulige konsekvenser for undervisningen av kvantefysikk i skolen.

5.1 Oppsummering av funn

Jeg vil innledningsvis vise tilbake til min problemformulering (se kap. 1.3.1). Gjennomgangen nedenfor vil være direkte knyttet til hvert av underpunktene a) - h).

a) Fotoelektrisk effekt: Oppgavene som ble gitt knyttet til fotoelektrisk effekt, ga lite diagnostisk informasjon. De fortalte oss imidlertid at elevenes kunnskaper om fotoelektrisk effekt er like god etter innføringen av ny læreplan i faget.

Vi har dessuten fått bekreftet at elever kan være regneteknisk sofistikerte, men at de i midre grad velger å vurdere det kvalitative i en problemstilling. Dette viste seg i forbindelse med oppgave 7 hvor en gruppe elever gjorde de relevante beregningene uten å trekke riktig konklusjon (se også pkt. b) nedenfor).

b) Bølge-partikkel-dualismen: Elektroner oppfattes i stor grad som klassiske partikler. Disse partiklene defineres av at de har masse. Elektronets bølgenatur er i beste fall løst integrert i elevens forestilling av elektronet. Når elevene eksplisitt blir spurt om å forklare elektronets bølgenatur (oppgave 9), er det svært få elever som gir relevante svar. I TIMSS så man imidlertid at svært mange elever klarte å beregne elektronets bølgelengde vha deBroglie-relasjonen. Dette er nok et eksempel på at elevene ofte mestrer regneteknikk, men at de ikke er i stand til å gi et meningsinnhold knyttet til disse beregningene.

I beskrivelsen av elektronets bølgenatur, ble konturene av en alternativ forestilling hvor elektronet beveger seg langs en sinusformet bane, dokumentert. Jeg påpekte også at noen elever har en forståelse av elektronets bølgenatur som analogt med lysets bølgenatur. Et slikt symmetrisk syn blir også understreket i våre lærebøker. Denne sammenlikningen er imidlertid ikke uproblematisk. For lys bruker vi begrepene frekvens og bølgelengde om hverandre. Hva skal vi eventuelt mene med elektronets frekvens? Hvorfor er det så vanskelig å bruke den enkle bølgelikningen $c = \lambda f$ for «elektronbølgen». Forklaringen til dette er å finne i at Schrödingerlikningen for materielle partikler skiller seg vesentlig fra den klassiske elektromagnetiske bølgebeskrivelsen av lys. Det viktigste skillet i så måte er at amplituden gis helt ulike tolkninger. Kvadratet av amplituden til klassiske elektromagnetiske bølger gir intensiteten til bølgen, mens i Schrödinger-likningen for elektroner representerer kvadratet til amplituden en sannsynlighet.

Når det gjelder lys, så vi at elevene i stor grad implementerer en dualistisk beskrivelse av lysets natur i sine svar. Det er både bølge og partikkel på samme tid. De klarte imidlertid ikke å gi forklaringer som kan dokumentere at de har tolket dette dualismebegrepet som meningsfullt.

For lys så vi spor etter noen av de samme alternative forestillingene som for elektronet. Lysets bølgenatur oppfattes av relativt mange å være knyttet til at lys er partikler som beveger seg langs en sinusformet bane. Til dette kan vi også registrere at 5% av elevene nevnte at lys har

masse. Dette er sannsynligvis nok en dokumentasjon av at masse er et viktig element i elevenes partikkelbegrep. Når man lærer at lys er partikler følger det intuitivt at disse må ha masse. Vi så også konturene av en alternativ forestilling der lyset består av to separate deler; en bølgedel og en partikkeldel.

c) Usikkerhetsrelasjonene: Ordet usikkerhet i Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner blir av mange elever forvekslet med måleusikkerhet. Usikkerhetsrelasjonene kan synes å være på vei ut av våre fysikkurs fordi de ikke ekplisitt er definert i læreplanene (se også punkt f og g). Jeg synes dette er bekymringsfullt, noe jeg vil begrunne i kapittel 5.2.

d) Atommodeller: I min undersøkelse har jeg bekreftet funn fra andre undersøkelser (Fischler m. fl. 1999 og 1992a og b, Petri m. fl. 1998, Mashhadi 1995 og Niedderer m. fl. 1990 og 1992) som rapporterer at mange elevene som avslutter videregående utdanning med fordypning i fysikk og/eller kjemi, foretrekker mekanistiske modeller av atomet til tross for at de har fått en generell innføring i kvantefysikk. Det er imidlertid vanskelig å sammenlikne mine funn direkte med andre funn fordi oppgavene som har vært brukt, er forskjellige.

Min undersøkelse viste at mange elever synes en enkel analogi mellom atomer og solsystemet er god (oppgave 10). Svært få elever velger å problematisere denne analogien.

En flervalgsoppgave (oppgave 11) viste at skymodellen er kjent blant mange elever, men oppgaven om analogien atom-solsystem viste at elevene i liten grad anvender skymodellen hvis oppgaven ikke direkte fokuserer på den. Dette viser at denne modellen ikke er den første elevene vil velge når de skal forklare noe, et resultat som er i tråd med Petri og Niedderers (1998) noe grundigere undersøkelse av dette.

I forbindelse med dette er det viktig å huske at en planetarisk atommodell er godt integrert i elevenes kunnskapsstruktur. En slik modell har elevene brukt i mange år før de i 3FY får et første innblikk i en kvantefysisk beskrivelse. Man kan derfor ikke gjøre som enkelte foreslår (Fischler m. fl.), nemlig unngå enhver behandling av Bohr-modellen. Det viktige etter min mening blir derfor å forsøke å få knyttet denne konkrete forestillingen med en generell modellforståelse av verden. Vi kommer mer tilbake til dette i det etterfølgende kapitlet.

e) Annen forskning: Jeg ga i kap. 2.3 en oppsummering av den sparsomme forskningen som hittil er utført. I punktene a)-d) ovenfor har jeg relatert mine funn til annen forskning der dette har vært naturlig.

f) Kvantefysikkens posisjon i faget: Jeg kan oppsummere kapittel 2.2.3 med at kvantefysikken for alvor kom inn i fysikkfaget i 1969. I planene som siden fulgte, har det vært noen endringer, men hovedstrukturen er den samme. Dette medfører at kvantefysikken kan sies å ha en tradisjon hvor det blir lagt vekt på Bohr-modellen, fotoelektrisk effekt, røntgenstråling og bølge-partikkel-dualisme.

I dagens plan utgjør kvantefysikken ett av 7 mål i 3FY. Hvis man enkelt antar at hvert enkelt mål skal vektlegges omtrent likt, vil dette tilsi at kvantefysikken utgjør ca. 15% av faget.

Jeg har drøftet den nye planens hovedmoment 6g grundig. Dette momentet må sies å være upresist og uklart formulert. Denne målformuleringen har gitt lærebokforfattere og lærere et stort handlingsrom. Dette er en tillitserklæring til lærerne. En læreplantradisjon med åpne målformuleringer kan ses i sammenheng med en tro på den profesjonelle, autonome lærer (Engelsen 1990). Dette kan imidlertid føre til at enkelte deler av kvantefysikken forsvinner fra faget. Jeg har spesielt uttrykt en bekymring for at dette kan være tilfellet for Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner.

I denne forbindelsen så jeg også på den nye eksamen i faget (Eksamenssekretariatet 1999c) og de retningslinjer som er gitt fra Eksamenssekretariatet i form av eksempeloppgaver (Eksamenssekretariatet 1998), samt det generelle skrivet om helhetlig kompetanse som ble utgitt våren 1999 (Eksamenssekretariatet 1999a). Ingen av oppgavene i eksamen våren 1999 eller i eksempeloppgavene fokuserte på læreplanmål 6g. Dessuten er Eksamenssekretariatets generelle holdning preget av at oppgavene til eksamen skal være virkelighetsnære. Dette reflekterer et kunnskapssyn som ikke i stor grad legger vekt på kulturelle og allmenndannende begrunnelser for faget.

Jeg har ellers kommentert to andre undersøkelser som har kartlagt læreres forhold til de ulike emnene i faget (Angell m. fl. 1995 og Lie m. fl. 1987). Disse viser en polarisering hvor en gruppe lærere kunne tenke seg større fokus på denne delen av fysikken, mens en annen gruppe helst hadde sett at kvantefysikken hadde blitt redusert eller helt utelatt fra læreplanene. Det er mulig at denne polariseringen skyldes at disse gruppene av lærere har ulike begrunnelser for fysikkfaget generelt og videregående skole spesielt. De lærerne som ønsker vekt på den moderne fysikken, vektlegger i større grad et allmennperspektiv hvor den kulturelle og den historisk filosofiske-dimensjonen er sentral.

Jeg har også kartlagt hvor mange undervisningstimer lærerne avser til denne delen, samt i hvilken grad de har praktisk arbeid i form av elevforsøk eller demonstrasjoner. Det er en stor variasjon, med et gjennomsnitt på ca. 11 undervisningstimer, noe som skulle tilsi at kvantefysikken utgjør i underkant av 10% av faget. Det kan synes som om vi også her ser en polarisering hvor noen klasser har en undervisning preget av mye undervisning og bruk av elevøvelser/lærerdemonstrasjoner, mens andre klasser har få timer uten at emnet relateres til praktiske eksempler.

Jeg har også sett på hvordan elevene vurderer denne delen av faget i forhold til resten av fysikkfaget. Oppsummert kan vi si at elevene vurderer kvantefysikken som noe mindre nyttig og litt vanskeligere enn resten av faget.

g) Læreverk: Jeg ga i kapittel 2.2.4 en veldig kort beskrivelse av innholdet i de tre læreverkene. Denne beskrivelsen var for overfladisk til å konkludere særlig mye.

Dersom vi antar at sidetallene reflekterer vektleggingen i faget, kan vi si at kvantefysikken utgjør ca. 10% av 3FY, noe som samsvarer med lærernes bruk av undervisningstid.

Jeg slår fast at ulike læreverk tolker læreplanmål 6g på forskjellig måte. Jeg etterlyser grundigere analyser av læreverk generelt fordi dette er en viktig komponent i refleksjoner knyttet til faget i skolen. Det er å håpe at noen vil gripe fatt i dette.

h) Psykometrisk perspektiv: Spørreskjemaet ble ikke designet for å fungere som en psykometrisk test. Det var det diagnostiske perspektivet i hver enkelt oppgave som var sentralt. Jeg har imidlertid vurdert alle oppgavene samlet langs en riktig/gal-dimensjon og finner i denne analysen at oppgavene har god diskrimineringsevne. Dette ble målt ved å se på enkeltoppgavenes korrelasjon med totalskåre, samt ved å se på gjennomsnittlig skåre for hver enkelt oppgave i hver av de tre skåregruppene som ble definert.

Testen har imidlertid en relativt lav indre konsistens reliabilitet gitt av Cronbach $\alpha=0,69$. Denne koeffisienten vil generelt øke når antallet oppgaver øker (Ary m. fl. 1996). Det er rimelig å anta at det er mulig å utvide testen med flere oppgaver slik at det oppnås en høyere indre konsistens reliabilitet.

I denne analysen har jeg også sett at det er en sammenheng mellom holdningsindikatoren som ble utviklet og skåre på testen. De elevene som har en utpreget positiv holdning til denne

delen av faget, gjør det signifikant bedre enn de som har en utpreget negativ holdning. Det ble likeledes påvist at elever som hadde mottatt flere undervisningstimer i emnet, skåret høyere enn de som hadde mottatt færre undervisningstimer. Jeg vil imidlertid advare mot å trekke enkle slutninger om årsak-virkning ut fra dette.

Det er ingen signifikante forskjeller mellom gutters og jenters prestasjoner på testen eller noen av enkeltoppgavene.

5.2 Begrunnelser og mål, del II

Jeg vil i dette kapitlet ta opp igjen tråden fra kapittel 2.3.1 hvor jeg presenterte fire ulike klasser med argumenter som ofte nyttes i begrunnelsen av naturfag som skolefag. I det kapitlet konstruerte jeg også fire spesifikke argumenter som det er mulig å bruke for å rettferdiggjøre kvantefysikkens plass i fysikkfagene. Før jeg eventuelt gir til kjenne konkrete anbefalinger knyttet til undervisningen av kvantefysikk, må jeg kort ta opp igjen disse argumentene. Jeg gir ikke en generell drøfting av disse, men kun en kort refleksjon av hvordan de ulike argumentene er knyttet til kvantefysikken.

I en innledning til en artikkelsamling om kvantefysikken i skolen (NARST 1999) gis det følgende argument for å inkludere kvantefysikk i skolen:

Until recently the main purpose for students other than physicists and chemists to study quantum mechanics was a better appreciation of its influence on modern thought. Now people who will be making decisions about business and technology need an understanding of modern physics. Recent developments in miniaturization of electronics and nanotechnology bring into the business and engineering world devices that can be appreciated only through the principles of quantum mechanics... Thus, an understanding of quantum physics beyond the level of a coffee table book is needed for the well-informed citizens and all types of professional in the 21st Century.

(Zollman, D. side 1 i NARST 1999)

Studerer vi dette nærmere ser vi at det her legges vekt på alle de fire argumenttypene. Jeg synes imidlertid at denne begrunnelsen er slagordpreget og ikke helt gjennomtenkt. Jeg drøfter dette videre i punktene nedenfor.

1. Det økonomiske argumentet: Det konstruerte eksemplet i kap. 2.3.1 betonet at kvantefysikk er viktig f. eks. i utviklingen av nye materialer og kjemikalier. Vi finner også i argumentet ovenfor referanser til at beslutningstakere i næringslivet må ha innsikt i kvantefysikk. Dette er nok for en stor del riktig, men det følger likevel ikke av dette at det firmaet de jobber i eller det landet som firmaet ligger i, dermed vil renne over av melk og honning. Russland har mange eminente fysikere, men den innsikt disse har i kvantefysikk, har neppe ført til at hard valuta har strømmet inn. Ny teknologi som innebærer økonomisk suksess er sannsynligvis like mye en funksjon av hensiktsmessig design og god markedsføring.

2. Nytteargumentet: God innsikt i kvantefysikk er neppe en viktig bakgrunnsfaktor for å forstå og mestre den verden vi lever i. Det er vanskelig å se hvordan kvantefysikk kan opplyse oss om hverdagslige fenomener. En del teknologi har riktignok en virkemåte som til sist kun kan forstås dersom man har innsikt i kvantefysikk. Dette blir også sterkt poengtert i det siterte argumentet ovenfor, men jeg stiller meg tvilende til om det er viktig med innsikt i kvantemekanikk for å kunne anvende teknologien, eller for å kunne vurdere hva vi eventuelt kan/skal/bør anvende denne teknologien til.

Det har imidlertid blitt utviklet alternative undervisningsopplegg som tar utgangspunkt i virkemåten til lysdioder (Lawrence 1996, Rebello m. fl. 1999, Zollman m. fl. 1997). Hovedhensikten med disse alternativene er ikke å beskrive teknologien i seg selv. Dette er riktignok en positiv sideeffekt. Praktisk elektronikk kan jo også regnes som en del av fysikkfaget. Hovedpoenget med en slik tilnærming er at kvantefysikken blir knyttet til en synlig makroskopisk effekt som ikke kan forklares ved klassisk fysikk¹¹. Den nye fysikken, kvantefysikken, vil imidlertid tillate en slik effekt. Det er derfor ikke nytteargumentet som er det sentrale i begrunnelsen for disse oppleggene. Man kan alltid lære seg å beherske og kontrollere slik praktisk elektronikk uten å ha kjennskap til kvantefysikk. Når det er kvantefysikken i seg selv som er i fokus i slike opplegg, må man altså søke begrunnelser utover en slik nyttedimensjon.

3. Det demokratiske argumentet: I et representativt demokrati, er det viktig at man er i stand til å vurdere argumenter som nyttes. Man snakker om den informerte borger som danner sine egne meninger om en sak med basis i kunnskaper. I argumentet ovenfor ser vi også en referanse til «the well-informed citizens». Jeg har imidlertid ikke sett en eneste viktig politisk sak som baserer seg på argumenter knyttet til innsikt i kvantefysikk. I vurderingen av f. eks. alternativ medisin som nevnes i kap. 2.3.1, er det neppe innsikt i kvantefysikk som gjør at man stiller seg positivt eller negativt til de ulike retningene. Det er til og med tvilsomt om man danner seg meninger om politiske spørsmål kun på basis av rasjonelle vurderinger av saksopplysninger. Politiske standpunkt er i utgangspunktet basert på ideologi og verdistandpunkt.

Det er faktisk enklere å bruke dette argumentet til å begrunne hvorfor man ikke bør ha kvantefysikk i skolen. En kort innføring i Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner kan f. eks. føre til at argumenter som at «alt er usikkert» vinner fram. Dette kan gi grobunn for et relativistisk syn på kunnskap generelt. Vi så at en betydelig andel elever svarte dette i oppgave 12 i spørreskjemaet.

4. Det kulturelle argumentet: I temaer som kvantefysikk og astrofysikk drøfter man i bunn og grunn eksistensielle spørsmål, hvor man selv plasseres i spennet mellom det aller minste (atomer, elektroner, kvarker) og det aller største (solsystemet, Melkeveien, Universet). Kvantefysikken knyttes på denne måten til vår undring over verden og vår egen plass i denne.

Utviklingen av kvantefysikken er en stor intellektuell prestasjon som er et resultat av arbeidet til mange fysikere i ulike deler av verden gjennom dette århundret. Utviklingen av denne kunnskapen har sannsynligvis vært like viktig i utviklingen av det vi kan kalle for den moderne teknologibaserte sivilisasjonen som dampmaskinen var det for utviklingen av det industribaserte samfunnet på 1800-tallet. Kvantefysikk er derfor i høyeste grad en del av vår kulturarv.

Et lignende argument kan framføres for fysikkfaget i sin allminnelighet. Det var en kraftigere fokusering på dette perspektivet som i sin tid førte til at kvantefysikk og astrofysikk kom inn i læreplanene for fysikk.

En vektlegging av en slik begrunnelse for kvantefysikken spesielt og fysikkfaget i sin allminnelighet vil ha konsekvenser for fagets innhold og undervisningsmetodiske spørsmål. Dette drøfter jeg noe grundigere i det kommende avsnittet.

¹¹ Elektronene i diodene må passere en potensialbarriere som er så høy at det ifølge klassisk fysikk ikke vil gå strøm i kretsen. Det er dette vi kjenner som tunnel-effekten.

5.3 Mulige konsekvenser for undervisning

Jeg vil i dette avsnittet se på hvilke konsekvenser min undersøkelse og de drøftinger jeg har gjort, **kan** ha for undervisningen i faget. Det er viktig å understreke at jeg ikke har undersøkt undervisningen i faget. Det er derfor ikke slik at de forslag jeg kommer med, er konsekvenser av undersøkelsen alene. De reflekterer like mye at jeg ønsker å synliggjøre den kulturelle og allmenndannende begrunnelsen for faget. Når jeg fokuserer på denne begrunnelsen så sterkt, er dette delvis et uttrykk for et verdistandpunkt som ikke kun er basert på rasjonelle, objektive kriterier. Ut fra et slik verdigrunnlag vil jeg innimellom tillate meg å være normativ. Det er derfor ikke lenger en nøytral, objektiv «forsker» som her uttrykker seg, men snarere en deltagende, subjektiv aktør i debatten om hva slags fysikkfag man ønsker seg.

En vektleggingen av det kulturelle perspektivet vil medføre at man i større grad ser på fysikk som et viktig allmennfag som man ønsker at flest mulig elever skal velge. Det er ikke gitt at det fysikkfaget vi har i dag, imøtekommer et slikt ønske. Et utgangspunkt som er helt imperativt i min tankegang her, er at allmennfaglig studieretning i dag er en skole for alle. Vi har en mye mer heterogen elevmasse enn det tidligere gymnaset hadde. Likevel har vi et fysikkfag som i det store og hele ikke har endret seg. Det er derfor mitt ønske at fysikkfaget i større grad skal bli et fag for de fleste. Dersom vi skal oppnå dette, tror jeg vi må få et fysikkfag som blir oppfattet som meningsfylt, relevant, nyttig, spennende og givende i seg selv, her og nå! Det bør ikke være slik at faget **kun** velges av instrumentelle årsaker eller som en begynnelse på en realfaglig utdanning. Med et slik allmennfaglig og kulturelt utgangspunkt må man erkjenne at fysikkfaget, og for såvidt alle skolefag, ikke er forenklede kortversjoner av vitenskapsfagene (Jenkins 1994).

Dette kulturelle og allmenndannende perspektivet vil ikke bare ha innvirkning på innholdet i faget. Det gir oss også et nytt perspektiv på formidlingen i faget. Aikenhead (1996) foreslår at vi i større grad må erkjenne at naturvitenskapene må ses på som en egen subkultur. Som alle kulturelle undergrupper, er denne preget av egne normer, verdier, forventninger, konvensjoner og symboler. For mange elever oppleves dette som en fremmed verden med liten eller ingen relevans til den verden som eleven lever i. Man kan derfor si at elevene krysser usynlige kulturelle grenser når de går inn i klasserommet. Aikenhead (1996) foreslår i denne sammenhengen metaforen «teacher as culture broker», altså som en slags guide som skal vise elevene denne spesielle kulturen. En viktig oppgave for læreren blir eksempelvis å bevisstgjøre elevene om at de krysser denne grensen.

Jeg håper at jeg med dette har synliggjort noen av utfordringene som vi står ovenfor, dersom vi ønsker at fysikkfaget i større grad skal være et fag for alle. Jeg har altså en visjon om et fysikkfag som på mange måter må sies å være et helt nytt fag. Det jeg ikke har, er en beskrivelse av dette faget. Jeg anser det som mer produktivt å beskrive hvilke muligheter vi har innenfor dagens læreplan.

La meg også med en gang slå fast at jeg gjennom arbeidet med denne oppgaven ikke har funnet en «formel» for god undervisning i fysikk. Generelt er jeg av den oppfatning at det ikke eksisterer en bestemt undervisningsmetode som er overlegen alle andre. Det jeg forhåpentligvis har vist, er at elevene ikke har en god kvalitativ forståelse av kvantefysikken. Jeg har dessuten vist at innenfor dagens læreplan eksisterer det et handlingsrom som gir hver enkelt lærer en stor frihet både i utvalg av innhold og metodisk tilnærming. Nedenfor gir jeg en redegjørelse for hvordan jeg kunne tenke meg å utnytte dette handlingsrommet.

Det overordnede fokus må være preget av at vi ønsker å gi elevene innsikt i hvordan kvantefysikken skiller seg fra klassisk fysikk og vår intuisjon. Dette kan oppnås ved mer

formaliserte tilnærminger med vekt på f. eks. en bølgemekanisk beskrivelse. En slik tilnærming med vekt på en kvalitativ/grafisk forståelse av Schrödinger-likningen har blitt prøvd ut av de tyske forskningsmiljøene som er mye omtalt tidligere. Niedderer og Deylitz har skrevet en lærebok som også er tilgjengelig på engelsk (Niedderer m. fl. 1998). Denne veien er imidlertid lang og bratt, og det er ikke mulig, så vidt jeg kan se, å tilpasse dette innenfor dagens læreplan. Istedet kan vi velge en mer kvalitativ beskrivelse som i det minste gir eleven en følelse av 'det genuint kvantemekaniske'. Dette er foreløpig ganske ullent og vagt, så la meg forsøke å foreslå noen grep:

1. Fotoelektrisk effekt er en sentral del i dagens læreplan. Det er et makroskopisk fenomen som ikke lar seg forklare av klassisk fysikk. Det er også et fenomen som kan knyttes til teknologi i elevens hverdag. Dette er derfor en del av kvantefysikken som kan oppleves som konkret og relevant. Det man imidlertid ikke lykkes så godt med i dagens kurs, er å vise hvordan dette bryter med klassisk fysikk. Man presenterer fenomenet, gir Einsteins tolkning og jobber mye med en formel som forsåvidt ikke sier annet enn at energien er bevart. Spørsmålet som må besvares er etter min mening: Hvorfor er det ikke mulig å tolke dette fenomenet ved å se på lys som en klassisk elektromagnetisk bølge? Det å kunne bruke Einsteins likning er en del av forståelsen av fotoelektrisk effekt, men det vil ikke hjelpe eleven til den kvalitative erkjennelsen som jeg synes er det essensielle.
2. Jeg ville ikke henvist til bølge-partikkel-dualismen. Det er flere grunner til dette. For det første har jeg i min undersøkelse vist at dette begrepet i stor grad ikke blir oppfattet som meningsfullt av elevene. Jeg har også vist at begrepet muligens kan gi noen uheldige alternative forestillinger hvor man knytter enkle konkrete bølgeegenskaper til en ellers klassisk partikkel. Jeg har også vist til at begrepet ikke er et fundamentelt begrep i kvantemekanikken og rådende fortolkning av denne. Dette kan heller erstattes av en fortolkning hvor man bruker fotoelektrisk effekt for å slå fast at lys ikke kan forstås som bølger, mens interferens viser at det ikke kan forstås som partikler. Det er altså ingen av delene. Det er noe helt nytt: kvanter. Et tilsvarende argument kan nyttes for elektroner. Man bør også i større grad vektlegge en sannsynlighetsfortolkning av elektronets bølgeegenskaper.
3. I en slik sannsynlighetsfortolkning er Heisenbergs usikkerhetsrelasjon veldig nyttig. Det er som sagt tidligere, enkle matematisk uttrykk, men det kvalitative innholdet i disse er ikke trivielt. Det bør derfor brukes mye tid på å se hvordan disse relasjonene kan forklare et vell av fenomener: Tunnel-effekter (f. eks. radioaktivitet og fusjon i solas indre), atomets stabilitet, nullpunktsenergi, virtuelle partikler i de ulike vekselvirkningene etc... På denne måten gir vi elevene etter min mening en følelse av noe genuint kvantemekanisk, budskapet om indeterminisme og ikke-lokalitet.
4. Man bør tenke gjennom den historiske vinklingen som dette stoffet gis i dag. Det er interessant å legge merke til at det er kun den moderne fysikken som presenteres langs en rendyrket historisk kontekst. Dette er et dramaturgisk grep som kan gi en rød tråd. På denne måten kan fysikken også bli mer tilgjengelig for flere.

En historisk tilnærming kan også være veldig nyttig på den måten at man kan få presentert et mer nyansert syn på hvordan kunnskaper i fysikken har blitt til. Man kunne f. eks. benyttet episoder fra kvantefysikkens historikk til å illustrere at den vitenskapelige utviklingen ikke alltid er en rasjonell prosess. Et godt eksempel er Einsteins redegjørelse for en mulig forklaringsmodell for den fotoelektriske effekten. Dette blir sett på som et gjennombrudd i fysikken, mens sannheten er at langt de fleste av datidens fysikere (inkludert Niels Bohr) ignorerte denne delen av Einsteins arbeid i de neste to tiår. Einstein

selv proklamerte heller ikke at disse fotonene var reelle størrelser. Han presenterte dem som heuristiske antagelser (Combourieu 1992). Selv ikke da Millikan i 1916 foretok et eksperiment som naivt kan sies å verifisere Einstein fotoelektriske formel, aksepterte fysikerne eksistensen av lysets tilsynelatende partikkelnatur. Det var først med teorien for og målingene av Compton effekten i 1922 og deBroglies djerpe hypotese om elektronets bølgenatur at interessen for disse spørsmålene ble satt i fokus (Strnad 1981).

I dagens fysikkurs legges det stor vekt på en historisk framstilling av tidlig kvantefysikk med semi-klassiske modeller. Det fokuseres lite på krisen i fysikken på slutten av 1800-tallet og tilsvarende lite på framveksten av kvantemekanikken på 30-tallet. Det er viktig å få fram, i det minste som et historisk faktum, at vi som et resultat av dette har fått en suksessrik matematisk beskrivelse av fenomener på kvantenivå.

I tillegg vil jeg også påpeke at dagens læreplan bør revideres noe. Dette har jeg tidligere utdypet i kapittel 2.2.3 og 5.1. Oppsummert består disse revisjonene i:

- Mål 6g kan eksempelvis omformuleres til: «Elevene skal kunne gi eksempler på hvordan kvantefysikken bryter med den klassisk fysikken og vår intuisjon». Dessuten er det ønskelig med en presisering som sikrer at Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner ikke forsvinner fra faget.
- Bohr-modellen og elementærpartikkel-fysikken flyttes til 3FY slik at det er mulig å diskutere dette på en meningsfull måte i sammenheng med resten av kvantefysikken.
- Mål 6e (pardanning og annihilering) flyttes til målet som omhandler relativitetsteorien (mål 5) og mål 6f (Planck-kurver, Stefan Boltzmanns lov og Wiens forskyvningslov) flyttes til målet som omhandler astrofysikken (mål 7).

Jeg må understreke at jeg ikke har prøvd ut endringene som foreslås ovenfor. Det er imidlertid mitt håp at man lærere kunne prøve ut ulike innfallsvinkler innenfor den læreplanen som allerede eksisterer, eventuelt også prøve ut alternative målformuleringer. Det er så vidt jeg vet mulig å søke om avvik fra læreplanen dersom dette er en del av et utprøvningsprosjekt. Jeg tror generelt at man i fagdidaktisk forskning burde prøve ut arbeidsmetoder hvor man i større grad involverer skolene og lærerne. Det fagdidaktiske miljøet ville på denne måten fått en direkte dialog med skolene, og den enkelte skole og lærer ville fått utviklet en side av sin profesjonalitet, nemlig den forskende lærer. Det å utvikle en kommunikasjon f. eks. ved å gi de deltagende lærerne noe igjen, en rapport, en kursdag etc. er en liten begynnelse på en slik dialog. Etter hvert bør man imidlertid også vurdere å gi skolene og kvalifiserte lærere et større ansvar for gjennomføringen av prosjekter. Fagdidaktikerens oppgave vil i en slik modell bli mer lik en prosjektleders rolle; igangsette prosjektet, ha et overordnet ansvar, sørge for at prosjektet utvikler seg i en ønsket retning og gi veiledning/støtte.

Min ambisjon med denne oppgaven har vært å igangsette en diskusjon og bevisstgjøring som forhåpentligvis kan føre til at flere elever (og lærere) kan få en opplevelse som den Niels Bohr beskriver:

Anyone who is not shocked by quantum theory has not understood it.
(Niels Bohr, sitert fra omslaget til Gribbin 1984).

Referanseliste

- Aikenhead, G. (1996): *Border Crossing into the Subculture of Science*. Studies in Science Education, vol. 27, side 1-52.
- Andersson, B (1990): *Pupils conceptions of matter and its transformations* (age 12-16). I Lijnse, P.L., Licht, P., de Vos, W og Waarlo, A. J. (red): *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*, CD-β Press, Utrecht.
- Angell, C. og Lie, S. (1990): *Fysikkeksamen og eksamensfysikk. En undersøkelse om fysikkeksamen i den videregående skolen våren 1989*. Skrifter for realfagundervisning, skrift nr. 4. Universitetet i Oslo
- Angell, C. og Lie, S. (1993): *Er eksamen rettferdig? Søkelys på fysikkeksamen 1989 - 1992*. Skrifter for realfagundervisning, skrift nr. 10, Universitetet i Oslo
- Angell, C og Isnes, A. (1995): *Fysikklærernes forhold til fagplanen i fysikk våren 1995*. Universitetet i Oslo.
- Angell, C. (1996): *Elevs fysikkforståelse. En studie basert på utvalgte fysikkoppgaver i TIMSS*. Dr.scient-avhandling, Universitetet i Oslo.
- Angell, C., Kjærnsli, M og Lie, S (1999): *Hva i all verden skjer i realfagene i videregående skole?* Universitetsforlaget, Oslo.
- Ary, D., Jacobs, L.C. og Razavieh, A. (1996): *Introduction to Research i Education*. Harcourt Brace College Publishers.
- Bettany, L. (1998): *David Bohm and the implicate order: a new paradigm for physics teachers*. Physics Education, Vol. 33, No. 6
- Brekke, G., Kobberstad, T., Lie, S. og Turmo, A (1999): *Hva i all verden kan elevene i matematikk?* Universitetsforlaget, Oslo.
- Callin, C., Falch, Ø., Hetland, K. T., Pålsgård, J. og Walle J. (1998): *Ergo*. H. Aschehoug & Co. (W. Nygaard).
- Chalmers, A. F. (1994): *What is this thing called Science?* 2. utgave, Open University Press
- Combourieu, M-C og Rauch, H (1992): *The Wave-Particle Dualism in 1992: A Summary*. Foundation of Physics, Vol. 22, No. 12
- DeWitt, B. S. (1970): *Quantum mechanics and reality*. Physics Today, sept. 1970
- diSessa, A. A. (1993): *Toward an Epistemology of Physics*. Cognition and Instruction, Vol 10, No. 2 & 3.
- Driver, R., Guesne, E. og Tiberghien, A. (1985): *Children's Idea in Science*. Open University Press, UK
- Duit, R og Pfundt, H. (1994): *Bibliography of Students' Alternative Frameworks and Science Education*. Printed version and database Kiel, IPN Kiel.
- Duit, R. og Treagust, D. F. (1995): *Students' conceptions and constructivist teaching approaches*. I Fraser, B. J. og Walberg, H. J. (red): *Improving Science Education*. The University of Chicago Press, Chicago, Illinois.

- Ekern, T. (1995): *Uttalelse om høringsutkast til læreplan for studieretningsfaget fysikk i videregående skole fra de videregående skoler i Akershus fylkeskommune*. Notat.
- Ekern, Isnes og Nilsen (1998): *Univers*. NKI Forlaget.
- Einstein, A., Podolsky B. og Rosen, N (1935): *Can Quantum-Mechanical Description of Reality Be Considered Complete?*. Physical Review, Vol. 47, May 1935.
- Eksamenssekretariatet (1998): *Eksamen 3FY, eksempelsett I og II*. SUE/Vg-98-011.
- Eksamenssekretariatet (1999a): *Veiledning i løsning av oppgaver som prøver helhetlig kompetanse*. SUE/Vg-99-002.
- Eksamenssekretariatet (1999b): *Vurderingsveiledning i biologi 3BI, kjemi 3KJ og fysikk 3FY - Skriftlig eksamen våren 1999*. SUE/Vg-99-026.
- Eksamenssekretariatet (1999c): *Eksamen fysikk 3FY (AA6227) 28. mai 1999*.
- Engelsen, B. U. (1990): *Kan læring planlegges?* Gyldendal Norsk Forlag A/S.
- Fischler, H (1999): *Introduction to Quantum Physics - Development and Evaluation of a New Course*. Paper presentert på det årlige møtet i National Association for Research in Science Teaching (NARST). Er å finne i særtrykket *Research on Teaching and Learning Quantum Mechanics* som kan lastes ned fra <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst>.
- Fischler H. og Lichtfeldt, M (1992a): *Modern physics and students' conceptions*. International Journal of Science Education, Vol. 14, No. 2
- Fischler H. og Lichtfeldt, M (1992b): *Learning Quantum Mechanics*. I Duit, Goldberg og Niedderer (Eds): *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies*. Institute for Science Education, University of Kiel.
- Fletcher, P. R. (1997): *How Students Learn Quantum Mechanics*. Dissertation submitted in fulfilment of the requirements for the Degree of Master of Science in The School of Physics, University of Sydney.
- Fletcher, P. og Johnston, I. (1999): *Quantum Mechanics: Exploring Conceptual Change*. Paper presentert på det årlige møtet i National Association for Research in Science Teaching (NARST). Er å finne i særtrykket *Research on Teaching and Learning Quantum Mechanics* som kan lastes ned fra <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst>.
- Ford, J. og Mantica, G (1992): *Does quantum mechanics obey the correspondence principle? Is it complete?*. American Journal of Physics, Vol 60, No 12.
- Forsøksrådet for skoleverket (1975): *Midlertidig fagplan for fysikk i Læreplan for den videregående skole. 3 Fagplaner for studieretningsfag*.
- Garcia-Castañeda, M. (1985): *An abuse with the wave properties of matter*. American Journal of Physics, Vol. 53, No 4.
- Gil, D. og Solbes, J. (1993): *The introduction of modern physics: overcoming a deformed vision of science*. International Journal of Science Education, Vol. 15, No. 3.
- Gjørtz, T. (1995): *Fasettkoder, et nytt fagdidaktisk redskap til å kartlegge Fysikkforståelse*. Hovedfagsoppgave i realfagdidaktikk, Universitetet i Oslo.
- Gribbin, J. (1984): *In Search of Schrödingers Cat*. Black Swan, London.
- Harré, R (1986): *Varieties of realism: A rationale for the natural sciences*. Oxford: Basil Blackwell.

- Hood, C. G. (1993): *Teaching about Quantum Theory*. The Physics Teacher, Vol. 31, May 1993
- Isaachsen (1969): *Fysikk for realgymnaset, bind 2*. Syttende utgave ved Johan Holtmark. H. Aschehoug & Co (W. Nygaard), Oslo.
- Jenkins, E. (1994): *Public Understanding of Science and Science Education for Action*. Journal of Curriculum Studies, vol. 26, no. 6.
- Jerstad, P. og Sletbak, B. (1998): *Rom, stoff, tid*. J. W. Cappelens forlag, Oslo.
- Johnson, P. (1998): *Progression in children's understanding of a 'basic' particle theory: a longitudinal study*. International Journal of Science Education, Vol. 20, No. 4
- Johnston, I. D., Crawford, K. og Fletcher, P. R. (1998): *Students difficulties in learning quantum mechanics*. International Journal of Science Education, Vol. 20, No. 4.
- Jones, D. G. C (1991): *Teaching modern physics - misconceptions of the photon that can damage understanding*. Physics Education, Vol. 26, No. 2
- Kidd, R., Ardini, J. og Anton, A. (1989): *Evolution of the modern photon*. American Journal of Physics, Vol 57, No. 1.
- Kind, P. M. (1989): *Naturfagenes pedagogikk i et konstruktivistisk perspektiv*. Hovedfagsoppgave i realfagdidaktikk, Universitetet i Oslo.
- Kjærnsli, M., Lie, S., Stokke, K. H. og Turmo, A. (1999): *Hva i all verden kan elevene i naturfag*. Oppgaver med resultater og kommentarer. Universitetsforlaget, Oslo.
- Kleve, B. (1994): *En testteoretisk og diagnostisk analyse av flervalgsoppgaver i matematikk fra TIMSS' pilottest*. Hovedfagsoppgave i realfagdidaktikk, Universitetet i Oslo.
- KUD (1976): *Læreplan for den videregående skole, del 3A, studieretning for allmenne fag. Fysikk*. KUD og Gyldendal norsk forlag
- KUF (1993): *Læreplan for grunnskole, videregående opplæring og voksenopplæring. generell del*.
- KUF (1994): *'Naturfagutredningen', del 1*.
- KUF (1996): *Læreplan for videregående opplæring. Fysikk studieretningsfag i studieretning for allmenne, økonomiske og administrative fag*.
- Kupier, J. (1994): *Student ideas of science concepts: alternative framework?* International Journal of Science Education, vol. 16, No. 3.
- Lawrence, I (1996): *Quantum Physics in School*, Physics Education, Vol. 31, No. 5
- Lerkerød, A. (1995): *Referat fra åpent møte 24/3-95 om ny læreplan i fysikk*.
- Lie, S. og Sletbak, B. (1987): *Fysikklærernes forhold til fagplanen. Resultater fra en spørreundersøkelse*.
- Lie, S., Angell, C. og Kjærnsli, M. (1998): *Kunnskaper og holdninger i realfag i videregående skole*. TIMSS rapport-serie nr. 29, Universitetet i Oslo.
- Lie, S., Kjærnsli, M. og Brekke G. (1997): *Hva i all verden skjer i realfagene? Internasjonalt lys på trettenåringers kunnskaper, holdninger og undervisning i norsk skole*. Universitetet i Oslo.

- Mashhadi, A. (1996): *Cognitive mapping of Advanced level Physics students' conceptions of Quantum Physics*. Paper presented at the Conference on Educational Research, Singapore
- Mashhadi, A (1995): *Advanced level Physics students' conceptions of Quantum Physics*. Paper presented at the Singapore Educational Research Association 9th Annual Conference.
- McKerrow, K. K. og McKerrow, J. E. (1991): *Naturalistic Misunderstanding of the Heisenberg Uncertainty Principle*. Educational Researcher, Vol. 20, No 1.
- Minstrell, J. (1992): *Factets of students' knowledge and relevant instruction*. I Duit, R., Goldberg, F. Og Niedderer, H.(red.): *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of an international workshop held at the University of Bremen*, IPN Kiel.
- Mott, N (1964): *On Teaching Quantum Phenomena*. Contemporary Physics, Vol. 5, side 401 - 418.
- Müller, R og Wiesner, H. (1999): *Students Conceptions of Quantum Physics*. Paper presentert på det årlige møtet i National Association for Research in Science Teaching (NARST). Er å finne i særtrykket *Research on Teaching and Learning Quantum Mechanics* som kan lastes ned fra <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst>.
- NARST (1999): *Research on Teaching and Learning Quantum Mechanics*. Et særtrykk utgitt o forbindelse med dette årets møte i National Association for Research in Science Teaching. Kan lastes ned fra <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst>.
- Niedderer, H og Deylitz, S. (1999): *Evaluation of a New Approach in Quantum Atomic Physics in High School*. Paper presentert på det årlige møtet i National Association for Research in Science Teaching (NARST). Er å finne i særtrykket *Research on Teaching and Learning Quantum Mechanics* som kan lastes ned fra <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst>.
- Niedderer, H og Deylitz, S (1998): *Introduction to Atomic Physics- A concept based on the Schrödinger equation*. Institute of Physics Education. University of Bremen. (Kan lastes ned fra <http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/quanten/#Pu>)
- Niedderer, H og Schecker, H (1992): *Towards an explicit description of cognitive systems for research in physics learning*. I Duit, R., Goldberg, F. Og Niedderer, H.(red.): *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of an international workshop held at the University of Bremen*, IPN Kiel.
- Niedderer, H., Bethge, Th. og Cassens, H (1990): *A simplified quantum model: A teaching approach and evaluation of understanding*. I Lijnse, P.L., Licht, P., de Vos, W og Waarlo, A. J. (red): *Relating macroscopic phenomena to microscopic particles*, CD-β Press, Utrecht.
- Nilssen, T. I. (1993): *Konstruktivisme i klasserommet*. Hovedfagsoppgave i realfagdidaktikk, Universitetet i Oslo.
- Norsk Lektorlags gymnasutvalg (1964): *Gymnaset i søkelyset II*. Cappelen.
- Olsen, R. (1999): *Elevers forståelse av moderne fysikk*. Paper fra «Det sjätte nordiska forskarsymposiet om undervisning i naturvetenskap i skolan», Joensuu universitet, Finland, 12.-16. juni.
- Osborne, J. F. (1996): *Beyond Constructivism*. Science Education, Vol. 80, No. 1
- Pedagogisk-psykologisk ordbok. Kunnskapsforlaget 1984.

- Penrose, R (1990): *The Emperor's New Mind*. Vintage Books, London
- Petri, J. Og Niedderer, H. (1998): *A learning pathway in high-school level quantum atomic physics*. International Journal of Science Education, Vol. 20, No. 9.
- Rebello, N. S. og Zollman, D. (1999): *Conceptual Understanding of Quantum Mechanics After Using Hands-on and Visualization Instructional Materials*. Paper presentert på det årlige møtet i National Association for Research in Science Teaching (NARST). Er å finne i særtrykket *Research on Teaching and Learning Quantum Mechanics* som kan lastes ned fra <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst>.
- Redish, E. F. og Steinberg R. N. (1999): *Teaching Physics: Figuring Out What Works*. Physics Today, Vol. 52, No. 1.
- Ringnes, V. (1993): *Elevers kjemisforståelse og læringsvansker knyttet til kjemibegreper*, Dr.Scient.- avhandling. Universitetet i Oslo
- Robitaille, D. F. og Robeck E. C. (1996): *The Character and the Context of TIMSS*. I Robitaille, D. F. og Garden, R. A. (red): *Research Question & Study Design*, TIMSS monograf no. 2.
- Roth, W-M (1993): *Heisenberg's Uncertainty Principle and Interpretive Research in Science Education*. Journal of Research in Science Teaching. Vol. 30, No. 7.
- Rozier, S. og Viennot, L (1991): *Student's reasonings in thermodynamics*. International Journal of Science Education, Vol. 13, No. 2.
- RVO (1982): *Fagplan i fysikk*. Rundskriv RVO - 42/82.
- RVO (1989): *Justert fagplan i fysikk studieretningsfag, 2FY og 3FY studieretning for allmenne fag*. Rundskriv RVO - 67/89.
- Scott, P.H. (1992): *Pathways in Learning Science: A Case Study of the Development of One Student's Ideas Relating to the Structure of Matter*. I Duit, R., Goldberg, F. og Niedderer, H. (red.): *Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. Proceedings of an international workshop held at the University of Bremen, IPN Kiel*.
- Sjøberg, S. (1998): *Naturfag som allmenndannelse - en kritisk fagdidaktikk*. Ad Notam Gyldendal, Oslo.
- Sjøberg, S. (1994): *Naturvitenskap, demokrati og dannelse*. I Karsten Schnack (red): *Fagdidaktikk og Dannelse i et demokratisk perspektiv*. Didaktiske studier, bind 10, Danmarks Lærerhøjskole, København
- Steinberg, R., Wittmann, M. C., Bao, L. og Redish, E. F. (1999): *The Influence of Student Understanding of Classical Physics When learning Quantum Mechanics*. Paper presentert på det årlige møtet i National Association for Research in Science Teaching (NARST). Er å finne i særtrykket *Research on Teaching and Learning Quantum Mechanics* som kan lastes ned fra <http://www.phys.ksu.edu/perg/papers/narst>.
- Strnad, J. (1981a): *Quantum physics for beginners*. Physics Education, Vol. 16, No. 2.
- Strnad, J. (1981b): *Pitfalls in the teaching of introductory quantum physics*. European Journal of Physics Vol. 2, side 250-254.
- Tamir, P. (1990): *Justifying the selection of answers in multiple choice items*. International Journal of Science Education, Vol. 12, No. 5.

Thorseng, H. (1997): Spørsmål og svar i naturfag. Hovedfagsoppgave i realfagdidaktikk, Universitetet i Oslo.

Unal, R og Zollman, D: *Students' Description of an Atom: A Phenomenographic Analyses*. Ikke publisert artikkel. Er å finne på <http://bluegiant.phys.ksu.edu/papers/vqm/AtomModels.PDF>.

UP (1959): *Undervisningsplaner for den høgre almenkolen etter lov av 10. mai 1935*. Fabritius & Sønners Forlag (Institusjonen Scheibler), Oslo 1959.

UP (1964): *Undervisningsplaner for realskolen og gymnaset etter lov av 12. juni 1964*. A/S O. Fredr. Arnesen Bok og Akcidenstrykkeri, Oslo 1964.

White, R. og Gunstone, R. (1992): *Probing Understanding*. Falmer Press.

Zollman, D. A., Rebello, N. S. og Escalada, L. T. (1997): *Hands-on Activities For Teaching Visual Quantum Mechanics*. Paper presentert på AAPT Winter Meeting i Phoenix, Arizona. Er å finne på <http://www.phys.ksu.edu/perg/vqm/wrkshp/phoenix.html>.

Vedlegg 1: Elevspørreskjema

Skole nr:

Elev nr:

Elevspørreskjema

Du er trukket ut til å delta på en undersøkelse i elevers forståelse av kvantefysikk. På den neste siden vil du finne informasjon om hvordan du skal gå fram i denne besvarelsen. Les denne godt før du begynner.

Ditt bidrag er verdifullt i denne forskningen. På forhånd takk for innsatsen.

Vennlig hilsen

Rolf V. Olsen, hovedfagstudent



**UNIVERSITETET
I OSLO**

Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling

Instruksjon

Dette heftet består av tre deler. I del I spør vi om litt bakgrunnsinformasjon, i del II finner du noen oppgaver i moderne fysikk som du skal besvare og i del III spør vi litt om hva du synes om denne delen av fysikkfaget.

Dersom du blir ferdig før tiden er ute, kan du se over arbeidet ditt.

Du får 45 minutter på oppgavene i dette heftet. Les hvert spørsmål nøye og svar så godt du kan. Ikke bruk så mye tid på enkelte spørsmål at du ikke rekker å bli ferdig.

I noen spørsmål skal du svare ved å sette en ring rundt ett av flere alternativer. Det er viktig at du i disse oppgavene setter ring rundt kun ett alternativ.

Eksempel 1:

Hvor mange minutter er det i tre timer?

A. 24

B. 60

☒ C. 180

D. 360

Hvis du velger å endre svar setter du en X over ditt første valg som vist under:

Eksempel 2:

Hvor mange minutter er det i tre timer?

☒ A. 24

B. 60

☐ C. 180

D. 360

I de fleste av oppgavene skal du imidlertid gi et utfyllende svar. For disse oppgavene er det viktig at du skriver tydelig og formulerer deg så godt du kan. Dersom det er noen oppgaver du ikke klarer å svare på, hopper du videre til neste spørsmål. Du kan bruke lommeregner og formelsamling, men ikke læreboka. Du skal løse oppgavene individuelt uten å samarbeide med andre.

Du og din klasse har sammen med ca. 20 andre klasser i landet blitt trukket ut til å delta i denne undersøkelsen. Du og din skole blir anonymisert, dvs at både du og din skole registreres med et nummer istedet for navn ved den videre behandlingen av undersøkelsen.

Du kan nå bla om og starte på oppgavene

Del I: Bakgrunnsinformasjon

1. Er du jente eller gutt?

Sett en ring rundt én bokstav

A. Jente

B. Gutt

2. Hvilket læreverk bruker du i 3FY?

Sett en ring rundt én bokstav

A. Rom, stoff, tid

B. Ergo

C. Univers

3. Hvilken karakter fikk du i 3FY i 1. termin?

Skriv inn karakteren i det åpne feltet nedenfor

Jeg fikk _____ i karakter i første termin i 3FY

Del II: Fysikkoppgaver

4. Ta stilling til hvilken av påstandene nedenfor som er riktig:

Sett en ring rundt én bokstav

- A. Lys er både bølger og partikler.
- B. Lys er partikler.
- C. Lys er enten bølger eller partikler.
- D. Lys er bølger.
- E. Lys er verken bølger eller partikler.

Begrunn svaret ditt:

5. Ta stilling til hvilken av påstandene nedenfor som er riktig.

Sett en ring rundt én bokstav

- A. Elektroner er både bølger og partikler.
- B. Elektroner er partikler.
- C. Elektroner er enten bølger eller partikler.
- D. Elektroner er bølger.
- E. Elektroner er verken bølger eller partikler.

Begrunn svaret ditt:

6. Ved fotoelektrisk effekt er den kinetiske energien til et emittert elektron mindre enn energien til fotonet fordi:

Sett en ring rundt én bokstav

- A. fotonenergien ikke blir fullstendig absorbert.
- B. frekvensen til fotonet ikke var større enn grensefrekvensen
- C. elektronet er svært sterkt bundet til atomet.
- D. elektronet mister litt energi når det frigjør seg fra overflata.

7. Tabellen viser løsrivingsarbeidet for fotoelektrisk effekt i tre ulike metaller.

Metall	W
Ca	$4,60 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
Li	$4,65 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
Zn	$6,94 \cdot 10^{-19} \text{ J}$

Hvilke(t) av disse metallene vil emitte elektroner når de blir bestrålt med synlig lys med bølglengden 400 nm ?

Begrunn svaret:

8. Grafen viser den maksimale kinetiske energien (K) til elektroner som blir emittert fra et metall ved fotoelektrisk effekt, som funksjon av frekvensen (f) til den strålingen som treffer metallet.

Hvilken av grafene nedenfor viser best sammenhengen mellom kinetisk energi og frekvens til et annet metall med mindre løsrivingsarbeid?

Alle grafene har samme frekvensskala og energiskala

Sett en ring rundt én bokstav

9. Du har i 3FY lært at vi kan regne ut bølgelengden til bl. a. elektroner. Du har i tillegg lært en del generelt om bølger både i 2FY og i 3FY.

Forklar hva vi mener med en bølge, og forklar hva bølgelengden til elektronene forteller oss.

Ditt svar:

- 10.** Denne oppgaven tar utgangspunkt i følgende påstand: «Atomets oppbygging kan sammenlignes med hvordan solsystemet ser ut.»

Drøft denne påstanden.

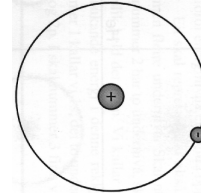
Ditt svar:

11. Nedenfor står det noen beskrivelser (med tilhørende figurer) av elektronet i et hydrogenatom.

Hvilken av disse passer best med hvordan du ser for deg dette?

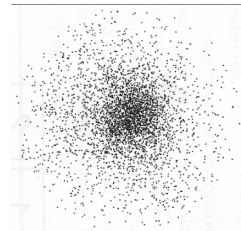
Sett en ring rundt én bokstav.

- A. Elektronet beveger seg rundt atomkjernen i en bestemt sirkelbane med høy hastighet.

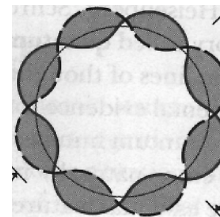


- B. Elektronets posisjon på et gitt tidspunkt er helt ubestemt og kan derfor ikke visualiseres.

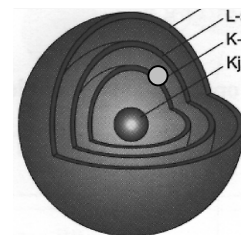
- C. Elektronets posisjon på et gitt tidspunkt kan beskrives av en elektronsky



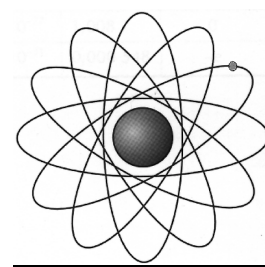
- D. Elektronet beveger seg rundt atomkjernen langs en bølgeformet sirkelbane.



- E. Rundt atomkjernen er det flere elektronskall som elektronet kan være i. Når atomet er i grunntilstanden vil elektronet være i det innerste skallet.



- F. Elektronet følger en sirkelbane som hele tiden dreier.



- 12.** I en klasse ble elevene bedt om å formulere Heisenbergs usikkerhetsrelasjon (uskarphetsrelasjon).

Hvilket av disse forslagene synes du er det beste?

Sett en ring rundt én bokstav

- A. Alt i naturen er usikkert
- B. Når vi gjør vitenskapelige eksperimenter, vil resultatene aldri bli helt nøyaktige.
- C. For noen par av fysiske størrelser er det en nedre grense for hvor nøyaktig vi kan måle begge størrelser samtidig.
- D. Når vi gjør vitenskapelige eksperimenter, må vi alltid ta i betraktning den usikkerhet som skyldes de instrumentene (den apparaturen) vi bruker.

Del III: Ditt forhold til denne delen av faget

I de neste spørsmålene skal du sammenlikne den delen av fysikkfaget som handler om kvantefysikk med resten av faget.

For alle spørsmålene gjelder det at du skal sette ring rundt kun én av bokstavene

13. Jeg synes kvantefysikken har vært

- A. en av de minst spennende delene i faget.
- B. omtrent like spennende som resten av faget.
- C. en av de mest spennende delene i faget.

14. Jeg synes at kvantefysikken har vært

- A. en av de minst nyttige delene i faget.
- B. omtrent like nyttig som resten av faget.
- C. en av de mest nyttige delene i faget.

15. Jeg synes kvantefysikken har vært

- A. en av de mindre vanskelige delene i faget.
- B. omtrent like vanskelig som resten av faget.
- C. en av de vanskeligste delene i faget.

16. Jeg kunne tenke meg å ha

- A. mindre kvantefysikk og mer av andre deler i faget.
- B. omtrent like stor andel kvantefysikk som i dagens fag.
- C. mer kvantefysikk og mindre av andre deler i faget.

Vedlegg 2: Løsningsforslag til elevene

I oppgavene som du nettopp har besvart var det både flervalgsoppgaver og oppgaver hvor du skulle gi egne svar. Alle oppgavene var hentet fra det temaet som i din lærebok er kalt for kvantefysikk. I læreplanens mål står det at du skal kunne en del om fotoelektrisk effekt og röntgenstråling. Du skal i tillegg kunne gi eksempler på at kvantefysikken bryter med våre hverdagsforestillinger.

Dere har i den siste perioden lært om framveksten av denne nye fysikken. Den vokste fram i et miljø preget av en tro på at de fysiske teoriene, dvs klassisk mekanikk og klassisk elektromagnetisme, var fullstendige beskrivelser av verden. Denne fysikken er preget av en indre matematisk enkelhet (noen vil si at dette er enstbetydende med vakkert), godt samsvar med observasjoner/forsøk og en tro på at alt som skjedde hadde en bestemt årsak (determinisme kalles dette litt fint).

I løpet av noen tiår i begynnelsen av vårt århundre utvikles imidlertid en helt ny teori, kvantefysikken, som bryter radikalt med denne klassiske fysikken. Vi får en forståelse av at fenomener på atomnivå (og lavere nivåer) ikke kan forklares ved hjelp av klassisk fysikk. I denne teorien brukes det begreper som ikke er så lette å forklare med ord. Det som imidlertid viser seg er at relativt avansert og abstrakt matematikk beskriver dette mikrokosmos på en god måte.

Man tar blant annet i bruk statistikk og sannsynlighetsregning for å beskrive systemer. På dette nivået viser det seg at verden ikke er deterministisk. Det er ikke slik at dersom du kjenner startbetingelsene for et elektron i bevegelse, så kan du beregne hvordan elektronet vil oppføre seg i fremtiden. Det eneste du kan si er hvor sannsynlig ulike mulige utfall er. Et eksempel på dette ser vi i radioaktivitet. En radioaktiv isotop er i seg selv uberegnelig. Man kan ikke forutsi når den vil nedbrytes ved å sende ut en eller annen slags stråling. Men vi kan si noe om hvor sannsynlig det er at det vil skje i løpet av et visst tidsrom. For en ansamling av millioner av denne isotopen kan vi derfor forutsi hvordan denne mengden av isotoper samlet vil oppføre seg.

I læreboka finner du mange slike eksempler på brudd med den klassiske fysikken. Det er å håpe at du får en slags forståelse av hvor annerledes denne fysikken er. Det du har lært er selvfølgelig bare en liten smakebit av det denne fysikken inneholder. Men det finnes kilder der ute som venter på deg. Det er blant annet mye fint å finne på nettet. Så til oppgavene:

Oppgave 4, 5 og 9: Bølger eller partikler?

I oppgave 4 og 5 skulle du ta stilling til noen påstander om henholdsvis lys og elektroner. Alternativene fokuserte på hvorvidt vi kan si at dette er bølger eller partikler. Det er her flere alternativer som kan sies å være riktige. Det er heller begrunnelsen som avgjør om du har gitt et godt svar eller ikke. I den læreboka som du bruker er dette temaet drøftet grundig og jeg vil derfor henvise deg til denne for å finne svar. Sentralt i drøftingen står noen forsøk som har blitt utført. Jeg vil gi dere en litt annen tolkning av disse forsøkene:

I et dobbeltspaltforsøk med lys får vi interferensmønster på en skjerm eller en film (se figur i læreboka). Mange velger å konkludere med at dette viser at lys er bølger. Et enkelt forsøk kan imidlertid aldri fungere som et bevis. Nå er det riktignok gjort flere forsøk hvor elektroner viser bølgeegenskaper. Nå er det imidlertid at selv om man klarer å konstruere hundrevis av forsøk som viser at elektroner har bølgeegenskaper så vil ikke dette fungere som et bevis. Det er imidlertid nok med ett enkelt forsøk for å motbevise/avvise/forkaste en bestemt hypotese. Og slike forsøk finnes. Ved interferensforsøket nevnt over kan vi istedet velge å sette opp hypotesen: «Lys er partikler». I forsøket får vi imidlertid et interferensmønster. Dette er ikke forenlig med partikkelhypotesen. Den eneste mulige konklusjonen er: Lys består **ikke** av partikler!

Fra forsøk med fotoelektrisk effekt forkaster vi på tilsvarende måte en hypotesen: «Lys er bølger». Det er ikke mulig å bruke en bølgebeskrivelse av lys for å forklare dette fenomenet. Altså: Lys er **ikke** bølger.

Til sammen kan vi nå konkludere at **lys er verken bølger eller partikler!** Vi bør derfor innføre et nytt ord; kvanter. Et kvantum er en størrelse som ikke kan beskrives kun ved klassisk mekanikk for partikler eller ved klassisk bølgeteori. Konsekvensen er at vi har utviklet en ny beskrivelse; kvantefysikk.

En tilsvarende argumentasjon kunne vært ført om elektronet.

Når vi drøfter slike spørsmål må vi være klar over at vi i fysikk (som i alle andre fag) arbeider med modeller av virkeligheten. Partikkelmodellen og bølgemodellen er to generelle beskrivelser som vi bruker i mange deler av fysikken. Det er derfor viktig å tenke litt over hva vi mener når vi bruker disse to ordene. Du har f. eks. i mekanikken brukt en partikkelbeskrivelse for å forenkle »virkelige« problemstillinger. En bil er i seg selv ikke en partikkel, men i mange sammenhenger kan vi gjøre gode beregninger hvor vi behandler bilen som en partikkel. I kvantefysikken har vi laget en ny matematisk beskrivelse (en modell) som gir en bedre overensstemmelse med de egenskapene som slike kvanter viser i ulike forsøk.

I oppgave 9 ble du bedt om å forklare hva en bølge er for noe og i denne sammenhengen skulle du også si noe om hva bølgelengden for elektroner forteller oss. Når vi tidligere har snakket om bølger har vi snakket om svingninger som brer seg i rommet. Hva det er som svinger er forskjellig i ulike sammenhenger. Det kan f. eks. være svingninger i molekyler i luft (lyd) eller det kan være svingninger i et elektromagnetisk felt (f. eks. lys). Det som er felles for alle fenomener som vi kaller for bølger er at bølger vanligvis kan beskrives ved hjelp av bl. a. størrelsene bølgelengde, frekvens og amplitude. Vår forståelse av bølgelengde er at det er avstanden mellom to nabotopper, to nabobunner eller to andre punkter som er i samme fase. For lydbølger og vannbølger er dette greit å forstå. Bølgene som inntreffer i kvantefysikkens beskrivelse av verden er imidlertid en litt annen type bølger. Den vanlige tolkningen i dag er at dette ikke er fysiske bølger, men sannsynlighetsbølger. Det er m.a.o ikke et fysisk medium som svinger.

Bølgelengden for elektroner og andre partikler gir oss informasjon om sannsynligheten for å finne en bestemt partikkel i et bestemt punkt i et bestemt tidspunkt.

I det tidligere nevnte dobbeltspaltforsøket med mange elektroner får vi et bilde på en film som ligner svært mye på et interferensmønster. Studerer vi disse stripene som utgjør maksimaene, ser vi at det er satt sammen av små prikker hvor elektronene har truffet filmen. La oss si at 10 000 elektroner har passert dobbeltspalten. Hva kan vi så si om det 10 001. elektronet? Vi vet ikke noe om hvor det vil treffe, men vi kan si noe om sannsynligheten for at det vil treffe i de ulike stedene på filmen. Noen steder ser vi at mange elektroner treffer. Det er derfor stor sannsynlighet for at det neste elektronet treffer på disse stedene. Andre steder er helt mørke, dvs at sannsynligheten er liten for at det neste elektronet vil treffe dette stedet. Dette er noe forenklet, men en grundigere behandling vil gå såpass mye utover læreplanen i 3FY at jeg ikke velger å gjøre det her.

Det imidlertid dette forsøket og alle andre forsøk på både elektroner og fotoner viser oss er at i våre måleapparater observerer vi partikler. Studerer vi f. eks. interferensmønsteret i eksemplet ovenfor litt nøyere ser vi at det er bygd opp av mange små prikker. Hver av disse prikkene representerer at en partikkel (elektron) har truffet filmen. Et godt svar på spørsmål 4 og 5 kunne derfor også ha vært at både lys og elektroner er partikler, men vi må bruke en bølgebeskrivelse (hvor bølgen representerer en sannsynlighet) for å beskrive hvordan disse partiklene beveger seg.

Oppgave 6, 7 og 8: Fotoelektrisk effekt

Fotoelektrisk effekt er et sentralt emne i 3FY. Det vil nok fortsatt bli gitt oppgaver knyttet til dette fenomenet i fremtidige eksamener i faget. I disse oppgavene forsøker vi å sjekke hvor godt du har forstått dette fenomenet.

Hvis vi ser på ett enkelt foton som treffer et metall og løsriver et elektron må vi huske på det følgende:

Ett enkelt foton avgir hele sin energi til ett enkelt elektron.

Dersom frekvensen til fotonet er mindre enn grensefrekvensen skjer det ingen fotoelektrisk effekt.

Noe av fotonets energi går med til å løsrive elektronet fra det atomet det er bundet til. Den resterende energien finner vi igjen som kinetisk energi hos elektronet som er frigjort, hvor denne kinetiske energien er gitt av $E_k = hf - W$. Her er h Plancks konstant, f er frekvensen til fotonet og W er løsrivingsarbeidet for det spesifikke metallet

Den kinetiske energien til det elektronet som sendes ut er mindre enn energien til det innfallende fotonet fordi elektronet er bundet til atomet (spørsmål 6). Et foton med bølgelengden 400nm har en energi gitt av:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3,00 \cdot 10^8}{400 \cdot 10^{-9}} \text{ J} = \underline{\underline{4,97 \cdot 10^{-19} \text{ J}}}$$

Både Ca og Li ville derfor emitte elektroner dersom det ble belyst med lys av denne bølgelengden.

Formelen $E_k = hf - W$ forteller oss at den kinetiske energien til det løsrivne elektronet er avhengig av både frekvensen til det innfallende lyset og av løsrivingsarbeidet til det aktuelle metallet. Denne formelen kan fremstilles grafisk med den kinetiske energien som funksjon av frekvensen til det innfallende lyset. Dette vil da bli en rett linje hvor stigningstallet er lik h .

Linja for det andre metallet må derfor være parallell med den første figuren. Dette utelukker to av alternativene. Vi har dessuten at grensefrekvensen svarer til den minste energien et foton kan ha for at vi skal få fotoelektrisk effekt. Grensefrekvensen er proporsjonal med W og vi må derfor ha en grensefrekvens som er mindre enn i den gitte grafen. Alternativ A er derfor det korrekte i oppgave 8.

Oppgave 10 og 11: Atom-modeller

I 2FY lærte du om ulike modeller av atomet. Den såkalte Bohr-modellen ga oss et mentalt bilde av et atom som et slags solsystem i miniatyr hvor kjernen svarer til sola og elektronene tilsvarende planeter i bane rundt denne kjernen. Det er imidlertid viktig å være klar over begrensningene som ligger i en slik modell. Vi vet for det første at elektronene befinner seg i kvantiserte energitilstander. Dette vil svare til at elektronet kun kan befinne seg i helt bestemte avstander fra kjernen. Det som imidlertid er en større svakhet ved en slik forestilling, er at den gir oss et bilde av et elektron som går rundt kjernen i bestemte baner, med en bestemt bevegelsesmengde og en bestemt fart. Vi har ovenfor diskutert at vi i kvantemekanikken ikke kan snakke om at et elektron befinner seg på et bestemt sted. Vi kan kun si noe om sannsynligheten for at elektronet befinner seg i ulike posisjoner. Forestillingen om et elektron som går i en veldefinert bane er ikke forenlig med dette. I oppgave 11 ble dere derfor presentert for en del alternative modeller. Av disse er det en skymodell som passer best med en slik sannsynlighetsbeskrivelse. I denne modellen vil tettheten av skyen svare til sannsynligheten for at et elektron befinner seg i ulike posisjoner.

Oppgave 12: Heisenbergs usikkerhetsrelasjon.

I noen kilder kalles denne for Heisenbergs uskarphetsprinsipp. Uansett hva den kalles: Dette er et grunnleggende prinsipp i kvantefysikken og den viser at kvantefysikken bryter med klassisk fysikk. Dette prinsippet sier oss at det faktisk er slik at vi ikke kan måle alle par av størrelser nøyaktig på samme tid. To slike par av størrelser er posisjon-bevegelsesmengde og energi-tid. Dette er et klart brudd med den klassiske fysikken. Klassisk fysikk tillater oss å bestemme både posisjon og bevegelsesmengde til en f. eks. en fotball veldig nøyaktig. Det er heller ingenting i denne teorien som sier at vi ikke skal kunne gjøre det samme for mindre partikler, f. eks. et elektron. Vi kan eventuelt bedre målingene ved å bruke bedre målemetoder og utstyr.

I kvanteverdenen hvor elektroner og fotoner er blant de mange aktørene, stiller dette seg helt annerledes. Et eksempel som viser dette er lys som går gjennom en smal enkeltspalt. I det fotonet går gjennom spalten har vi bestemt posisjonen til fotonet ganske nøyaktig. Konsekvensen er at lyset går ut av spalten med en spredning. Dette svarer til at bevegelsesretningen til fotonene er ubestemt, noe som igjen svarer til at bevegelsesmengden til fotonene har blitt mer ubestemt. Vi kan bestemme posisjonen enda mer nøyaktig ved å la lyset gå gjennom en enda smalere spalt. Resultatet er at bevegelsesmengden er enda mer ubestemt, noe vi ser ved at spredningen av lyset har blitt større enn sist gang. Heisenbergs usikkerhetsrelasjon gir oss et anslag for hvor nøyaktig det i beste fall er mulig å måle disse to størrelsene samtidig. For de to parene av størrelser nevnt over er dette gitt ved:

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq \frac{h}{4\pi}$$
$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$$

Disse relasjonene kan brukes til å forklare mange fenomener som klassisk fysikk ikke kan forklare. Eksempler på slike fenomener er tunneleffekten og nullpunktsbevegelse, uten at jeg her går nærmere inn på disse fenomenene.

Vedlegg 3: Lærerspørreskjema

I dette spørreskjemaet ønsker jeg å kartlegge hvordan gjennomføringen av elevundersøkelsen gikk. Jeg ønsker også å stille noen spørsmål knyttet til din undervisning av denne delen faget.

1. Hvor mange minutter fikk elevene til å besvare spørsmålene?

Skriv ned ca. antall minutter.

_____minutter

2. Er ditt inntrykk at elevene fikk nok tid?

Ring rundt enten A eller B.

A. Ja B. Nei

3. Er det ditt inntrykk at oppgavene ble forstått av elevene?

Ring rundt enten A eller B

A. Ja B. Nei

Dersom du svarte ja på spørsmål 3 kan du hoppe til spørsmål 5.

4. Hvilke oppgaver hadde elevene problemer med å forstå?

Angi oppgavene med nummer:_____

5. Hvor mange undervisningstimer har du brukt eller kommer du totalt til å bruke på dette temaet?

Angi ca. antall timer

_____timer

6. Har elevene gjort elevforsøk knyttet til dette temaet i faget?

Ring rundt enten A eller B.

A. Ja B. Nei

Dersom du svarte nei på spørsmål 6 kan du gå direkte til spørsmål 8.

7. Angi elevøvelsen ved enten å referere til øvelsens (øvelsenes) nummer i et læreverk eller ved å angi temaet eller annen referanse:

Øvelse nr: _____ i læreverket A. RST B. Univers C.
Ergo

Tema eller annen referanse: _____

8. Har du gjort lærerdemonstrasjoner knyttet til dette temaet i faget?

Ring rundt enten A eller B.

A. Ja B. Nei

Dersom du svarte nei på spørsmål 8 skal du ikke svare på flere spørsmål.

9. Angi demonstrasjonen ved enten å referere til øvelsens (øvelsenes) nummer i et læreverk eller ved å angi temaet eller annen referanse:

Øvelse nr: _____ i læreverket A. RST B. Univers C.
Ergo

Tema eller annen referanse: _____

Vedlegg 4: Informasjonsbrev til lærerne

Undersøkelse av elevers forståelse av kvantefysikk

Jeg må først uttrykke min takk til deg og dine kollegaer rundt omkring på de skolene som jeg har vært i kontakt med per telefon angående deltagelse i denne undersøkelsen. Responsen var overveldende positiv, og jeg sitter igjen med et inntrykk av at dere alle setter pris på at en slik undersøkelse blir gjort. Jeg mener at vi ved slike undersøkelser bidrar til en refleksjon rundt vårt eget fag og vår egen praksis i faget.

Jeg er hovedfagstudent ved Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling ved Universitetet i Oslo med professor Svein Lie som veileder. De problemstillinger jeg ønsker å undersøke er knyttet til elevers forståelse av grunnleggende begreper i kvantefysikken.

Jeg hadde litt knapp tid til å rekruttere deltagere til undersøkelsen og jeg kontaktet derfor deg direkte for å høre om du var interessert i å delta. Formelt skal man først tilskrive eller innhente muntlig samtykke fra rektor i forbindelse med undersøkelser av denne typen. For å rette litt på denne formelle feilen har jeg vedlagt et brev som jeg håper du kan gi til rektor på din skole.

Som sagt i telefonen er testens varighet estimert til ca. en undervisningstime. Jeg tror imidlertid at noen elever vil få noe knapp tid. Det hadde derfor vært fint om du kunne få iverksatt denne undersøkelsen umiddelbart når timen begynner.

Spørreskjemaet har en instruks til elevene på førstesiden. Det er viktig at elevene leser denne før de setter i gang. Det hadde vært fint om du kunne poengtere at elevene må passe på å få nok tid til å avslutte oppgavene. Jeg tenker spesielt på del III hvor elevene skal uttale seg om hva de synes om dette temaet i fysikkfaget. Det hadde derfor vært fint om alle elevene uansett fikk tid til å svare på de fire spørsmålene i denne delen. Det vil ta ca. ett minutt.

Jeg legger også ved et ark som kan leveres ut til elevene etter at testen er innlevert. I dette »løsningsforslaget» forsøker jeg å antyde hva oppgavene er ute etter. Det er ikke like greit å gi et »fasitsvar» til alle oppgavene. Jeg håper du ved hjelp av dette synes at testen fungerer som en del av undervisningen i dette temaet.

Du velger selv når det passer å ha denne undersøkelsen i din klasse. Elevene bør imidlertid ha fått avsluttet kapitlet med tittelen »Kvantefysikk».

Det er viktig for meg å understreke at skolene, elevene og lærerne som deltar i undersøkelsen vil bli anonymisert ved behandlingen av spørreskjemaet. Det vil derfor ikke være mulig å lage analyser hvor navngitte skoler, elever eller lærere stilles opp mot hverandre. Hvert skjema blir derfor tilordnet et nummer som blir brukt som identifikator i det videre arbeidet. Elevene skal derfor ikke skrive sitt eget eller skolens navn på besvarelsene.

Når undersøkelsen er gjennomført sender du besvarelsene til:

ILS,

Postboks 1099 Blindern,

0316 Oslo.

Attn: Rolf V. Olsen, hovedfagsstudent.

Jeg er ikke så lett å få tak i på telefon, men dersom det skulle være noen spørsmål kan du nå meg på e-mail: rolfvo@ils.uio.no

Jeg skal avslutte min hovedfagsoppgave i desember '99/januar '00. Jeg vil sende deg en egen kortversjon av de viktigste resultatene og drøftingene umiddelbart etter avholdt eksamen.

Vennlig hilsen

Rolf V. Olsen

Vedlegg 5: Informasjonsbrev til rektor

Fra: Rolf V. Olsen

Til: Rektor

Undersøkelse av 3FY-elevers forståelse av moderne fysikk

Jeg er hovedfagstudent ved Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling ved Universitetet i Oslo med professor Svein Lie som veileder. De problemstillinger jeg ønsker å undersøke er knyttet til elevers forståelse av grunnleggende begreper i kvantefysikken. I den videregående skolen er dette en sentral del av læreplan i 3FY. Deres skole ble trukket ut som en av ca. 20 deltagende skoler spredt over hele landet. Jeg har kontaktet faglæreren ved skolen per telefon for å høre om han var villig til å stille sin gruppe til disposisjon for å delta på en undersøkelse. Læreren på Deres skole var interessert i å være med på denne undersøkelsen.

Jeg har i ettertid fått vite at jeg ikke har fulgt formell prosedyre for slike henvendelser. Jeg burde selvsagt tatt kontakt med Dem først. Dette er grunnen til at jeg sender dette brevet for å informere Dem om undersøkelsens innhold og den praktiske gjennomføringen.

Skolene som deltar vil bli anonymisert ved behandlingen av spørreskjemaet. Det vil derfor ikke være mulig å lage analyser hvor navngitte skoler stilles opp mot hverandre. Faglærer og elever er selvfølgelig også anonyme i dataregistreringen. Klassene som deltar tilordnes et nummer. Tilsvarende vil også hver enkelt elev bli tilordnet et nummer.

I elevspørreskjemaet skal ikke elevene oppgi noen sensitive data. Det er heller ingen kontroversielle spørsmål.

Jeg håper det vedlagte spørreskjemaet virker betryggende i så måte.

Elevspørreskjemaet vil ha et innhold som gjør at det fungerer godt i en undervisningssammenheng. Oppgavene som elevene skal besvare dekker store deler av det læreplanmålet som beskriver elevenes måloppnåelse innen emnet kvantefysikk. Faglærer har også blitt tilsendt et «løsningsforslag» som kan kopieres og deles ut til elevene etter at undersøkelsen er gjennomført. Dette er nok en av hovedgrunnene til at de faglærerne som jeg har snakket med, har vært meget villige til å stille opp. Når jeg er ferdig med oppgaven, vil faglærerne dessuten få tilsendt en rapport hvor jeg sammenfatter resultatene fra undersøkelsen og de konklusjoner/refleksjoner jeg har gjort på dette grunnlaget.

Nok en gang vil jeg beklage at den formelle prosedyren ikke ble fulgt, og jeg vil også benytte anledningen til å takke Deres skole for innsatsen. Mitt håp er at denne forskningen skal være et av mange små bidrag til å nå det målet som mange av oss har: Å gjøre faget meningsfullt for elevene i deres hverdag, å gi elevene et solid grunnlag for videre studier og yrkesliv og å gjenreise faget som et viktig allmennfag med stor tilslutning.

Vennlig hilsen

Rolf V. Olsen

(hovedfagstudent)

Vedlegg 7: Pilotundersøkelsen

Oslo: 29. september 2000

Informasjon om pilotundersøkelse i FYS 111

Mitt navn er Rolf Vegar Olsen. Jeg er hovedfagsstudent ved ILS (Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling). I mitt hovedfagsarbeid håper jeg å finne ut noe om hvordan norske fysikkelever tenker om sentrale begreper innen moderne fysikk.

Vi vet fra før at norske elever er veldig flinke sammenlignet med andre land. Spesielt innen moderne fysikk er vi veldig flinke.

Din deltagelse i denne forskningen vil være et viktig bidrag i arbeidet med å ta vare på det som er godt i norsk fysikkundervisning på dette området. Din deltagelse vil bestå i å svare på noen få spørsmål. Du har allerede fått de første spørsmålene som jeg håper du vil svare på i pausen mellom de to forelesningstimene i dag. Du kan også bruke de første fem minuttene etter den andre forelesningstimen.

Jeg kommer tilbake neste onsdag med noen nye spørsmål. Det er derfor fint om du tar vare på eller husker det nummeret som står øverst til venstre på spørreskjemaet. For å gjøre dette lettere for deg har jeg festet på en liten lapp med nummeret. Denne kan du rive av å ta vare på. Som en liten backup i tilfelle du skulle glemme dette nummeret, ønsker jeg at du skriver dine initialer på toppen av arket. Dersom du velger å delta skal du vite at dine svar er anonyme. Initialene som du skriver på vil ikke bli registrert i det videre arbeidet.

Jeg er avhengig av at flest mulig av dere deltar. I tillegg til at du kan ha god samvittighet for å ha bidratt til nyttig forskning, er du derfor med i trekningen av **2 gavekort på Platekompaniet!**

Du kan levere inn svaret idet du går ut av forelesningssalen. Jeg står ved døra på toppen av Store fysiske aud. ved slutten av timen.

På forhånd: Tusen takk for ditt bidrag !

Vennlig hilsen
Rolf V. Olsen

Skjema A1

1. Jeg hadde disse fagene på videregående skole

- A. Jeg hadde både 2FY og 3FY
- B. Jeg hadde kun 2FY
- C. Jeg hadde ikke fysikk på videregående skole

2. Jeg har avlagt eksamen i følgende fysikkurs på universitet eller høyskole:

3. Ta stilling til hvilken av påstandene nedenfor som er riktig:

- A. Lys er både bølger og partikler.
- B. Lys er partikler
- C. Lys er enten partikler eller bølger.
- D. Lys er bølger
- E. Lys er verken bølger eller partikler

Begrunn svaret ditt:

4. Du har i 3FY lært at elektroner har en bølgelengde. Hvilken av setningene under beskriver best hva denne bølgelengden er?

(Dersom du ikke har hatt 3FY eller tilsvarende kan du hoppe over dette spørsmålet)

- A. Elektronets bølgelengde forteller oss at elektroner går i sirkelbane rundt atomkjerner med en bestemt periode og fart.
- B. Elektronets bølgelengde forteller oss at elektroner svinger i et elektromagnetisk felt.
- C. Omkretsen til elektronets bane rundt kjernen er lik et helt antall bølgelengder
- D. Elektronets bølgelengde sier oss noe om hvordan en stråle av elektroner vil oppføre seg når de sendes gjennom en dobbeltspalt.
- E. Elektronets bølgelengde sier noe om elektronets utstrekning.
- F. Elektronets bølgelengde forteller oss at elektronene er vibrerende partikler.

Begrunn svaret ditt på spørsmål 4:

5. Gi ett eksempel på et fenomen som ikke kan forklares med klassisk fysikk, men som kan forklares ved hjelp av kvantemekanikk:

Skjema A2

6. Ta stilling til hvilken av påstandene nedenfor som er riktig.

- A. Elektroner er både bølger og partikler.
- B. Elektroner er partikler
- C. Elektroner er enten partikler eller bølger.
- D. Elektroner er bølger
- E. Elektroner er verken bølger eller partikler

Begrunn svaret ditt:

7. Denne oppgaven tar utgangspunkt i følgende påstand: «Atomets oppbygging kan sammenlignes med hvordan solsystemet ser ut.» Drøft denne påstanden.

Skjema B1

1. Jeg hadde disse fagene på videregående skole:

- A. Jeg hadde både 2FY og 3FY.
- B. Jeg hadde kun 2FY.
- C. Jeg hadde ikke fysikk på videregående skole.

2. Jeg har avlagt eksamen i følgende fysikkurs på universitet eller høyskole:

3. Ta stilling til hvilken av påstandene nedenfor som er riktig.

- A. Lys er både bølger og partikler.
- B. Lys er partikler.
- C. Lys er enten bølger eller partikler.
- D. Lys er bølger.
- E. Lys er verken bølger eller partikler.

Begrunn svaret ditt:

4. I 3FY lærte vi at vi kan regne ut bølgelengden til bl. a. elektroner. Gi en beskrivelse av hva denne bølgen er for noe:

(Dersom du ikke har hatt 3FY eller tilsvarende kan du hoppe over dette spørsmålet)

5. Kvantefysikken bryter med klassisk fysikk på mange måter. Gi ett eksempel på dette.

Skjema B2

6. Ta stilling til hvilken av påstandene nedenfor som er riktig.

- A. Elektroner er både bølger og partikler.
- B. Elektroner er partikler.
- C. Elektroner er enten partikler eller bølger.
- D. Elektroner er bølger.
- E. Elektroner er verken bølger eller partikler.

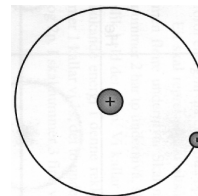
Begrunn svaret ditt:

7. Nedenfor står det noen beskrivelser (med tilhørende figurer) av elektronet i et hydrogenatom.

Hvilken av disse passer best med hvordan du ser for deg dette?

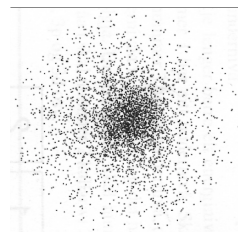
Sett en ring rundt én bokstav.

- A. Elektronet beveger seg rundt atomkjernen i en bestemt sirkelbane med høy hastighet.

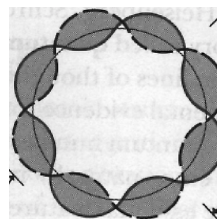


- B. Elektronets posisjon på et gitt tidspunkt er helt ubestemt og kan derfor ikke visualiseres.

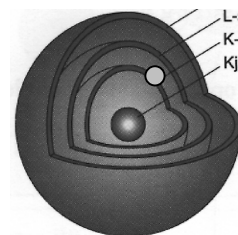
- C. Elektronets posisjon på et gitt tidspunkt kan beskrives av en elektronsky



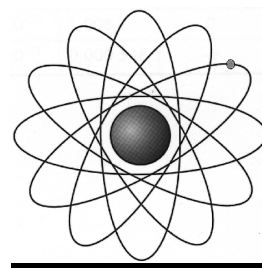
- D. Elektronet beveger seg rundt atomkjernen langs en bølgeformet sirkelbane.



- E. Rundt atomkjernen er det flere elektronskall som elektronet kan være i. Når atomet er i grunntilstanden vil elektronet være i det innerste skallet.



- F. Elektronet følger en sirkelbane som hele tiden dreier.



Vedlegg 8: Rapport til lærerne

KVANTEFYSIKK I SKOLEN

**En undersøkelse av elevers forståelse av
kvantefysikk**

av
Rolf V. Olsen

Rapport til deltagende lærere

Kortversjon av en hovedfagsoppgave i realfagdidaktikk ved Institutt
for lærerutdanning og skoleutvikling, Universitetet i Oslo,
november 1999

1 INNLEDNING.....	141
1.1 HVA ER FYSIKKDIDAKTIKK?	141
1.2 EN KORT PRESENTASJON AV MEG SELV OG UNDERSØKELSEN	142
2 KVANTEFYSIKKENS STATUS I FYSIKKFAGET.....	144
2.1 LÆRERNES SYN PÅ FAGET GENERELT OG KVANTEFYSIKKEN SPESIELT.	144
2.2 EN LITEN DRØFTING AV LÆREPLANEN	146
2.3 KVANTEFYSIKK I DAGENS LÆREVERK	148
2.4 BUDSKAPET I EKSAMEN V99 OG VEILEDNINGSDOKUMENTER GITT UT AV EKSAMENSSEKRETARIATET.....	149
3 RESULTATER.....	152
3.1 BAKGRUNNSVARIABLENE OG LÆRERSPØRRESKJEMAET	152
3.2 FOTOELEKTRISK EFFEKT.....	153
3.3 HEISENBERGS USIKKERHETSRELASJON.....	155
3.4 BØLGE-PARTIKKEL-DUALISME.....	157
3.5 ATOMMODELLER.....	159
3.6 ANALYSE AV TOTALSKÅRE.....	161
4 AVSLUTTENDE KOMMENTARER.....	165
4.1 KVANTEFYSIKK, ET HELT SPESIELT EMNE I FYSIKKEN.....	165
4.2 HVA MENER VI MED FORSTÅELSE I FYSIKK	166
4.3 MULIGE KONSEKVENSER FOR UNDERVISNINGEN AV KVANTEFYSIKK	167
5 ANBEFALT LESNING OG NOEN NYTTIGE WEB-ADRESSER.....	170

1 Innledning

Jeg vil takke deg, dine elever og din skole fordi dere stilte opp som deltagere i min undersøkelse knyttet til kvantefysikk våren 99!

Mitt håp var at undersøkelsen skulle gi dine elever en liten repetisjon av sentrale deler av kvantefysikken. Dessuten var det mitt håp at du som lærer skulle få noe ut av dette. Den lille trykksaken som du nå holder i hendene er et lite sammendrag av min hovedfagsoppgave som ble levert for kort tid siden.

I denne innledningen ønsker jeg kort å presentere idéen bak undersøkelsen og jeg ønsker å gi en liten innføring i fysikkdiraktikk. I den neste delen (kap. 2) beskriver jeg hvilken status/posisjon kvantefysikken har i våre fysikkfag. Jeg diskuterer her læreplanen, samt at jeg ser overfladisk på de tre læreverkene som eksisterer. I min undersøkelse spurte jeg ikke hva lærerne mente om denne delen av faget, men det har andre gjort tidligere, og jeg bruker derfor litt plass også for å oppsummere dette. Jeg presenterer i kapittel 3 de viktigste resultatene fra undersøkelsen. I kapittel 4 gir jeg en drøfting av mulige konsekvenser for undervisningen av kvantefysikk. Til slutt (kap. 5) har jeg vedlagt en liste over referanser og forslag til videre lesning. Jeg viser her også til noen undervisningsressurser som finnes på internet.

Jeg har valgt å ikke skrive dette som en vitenskapelig artikkel. Dette betyr at jeg har kuttet ut mange referanser. Ved direkte henvisninger/sitater har jeg referert ved å angi et [nummer] i klammer som viser til referanselisten til sist. Jeg har også kuttet helt ut metoddelen og mesteparten av teorigrunnlaget som er beskrevet i hovedfagsoppgaven. Jeg viser derfor til denne for en mer «vitenskapelig forsvarlig» presentasjon.

1.1 Hva er fysikkdiraktikk?

Fagdidaktikk har etter hvert vokst fram som egne fag på alle norske universiteter. Dette er først og fremst en konsekvens av at universitetene tilbyr årsenheten Praktisk, pedagogisk utdanning (PPU) for de studenter som ønsker seg en jobb i skoleverket. Det er vel også en slik kontekst som utgjør en kjerne i begrepet fagdidaktikk; refleksjoner rundt de respektive skolefagene. Fysikkdiraktikk kan derfor i første omgang sies å være refleksjoner knyttet til fysikkfaget i skolen.

Refleksjoner er noe upresist. En presisering vil være at vi snakker om refleksjoner eller vurderinger knyttet til begrunnelser, utvalg, strukturering og tilrettelegging av undervisningen i faget. I forbindelse med slike vurderinger har fagdidaktikeren behov for å trekke inn kunnskap fra ulike akademiske disipliner. Foruten det konkrete faget, f. eks. fysikk, må han/hun ha kjennskap til pedagogikk, et fag som i seg selv er tverrfaglig. Denne tverrfagligheten spenner fra generell kunnskap om bl. a. kognitive prosesser (læringspsykologi), sosialiseringsteori og skolehistorikk. For å kunne vurdere faget i et større perspektiv må fagdidaktikeren også trekke inn akademiske disipliner som vitenskapssosiologi, vitenskapshistorie og vitenskapsfilosofi. Han/hun må også i sitt arbeid med disse problemstillingene ha et sunt forhold til de metoder som brukes. Dette vil innebære at vedkommende må ha kompetanse innen det mangfold av kvalitative og kvantitative metoder som finnes.

I all denne tverrfagligheten finner vi fagdidaktikkens styrke og dens mulige svakheter. Styrken er at man tar utgangspunkt i problemstillingene og inviterer deltagere fra alle leirene til å bidra med å utvikle løse refleksjoner til fundamenterte analyser. Faren er imidlertid at dette kan bli

et sammensurium av kvasihistoriske metoder, kvasipsykologiske teorier, kvasifilosofiske resonnementer etc.

Realfagdidaktikken som en egen akademisk disiplin, har utviklet seg mye de siste 20-30 årene. Fra å være et fag som man kunne kalle for undervisningsmetoder i realfagene, til å bli et fag med en egen identitet, dvs egne professorater i de akademiske institusjonene, egne organisasjoner som står bak tidsskrift og konferanser hvor man kan presentere og debattere resultater fra forskningen på området. Fagdidaktikk har på denne måten blitt mer enn summen av alle de disiplinene som nevnes ovenfor.

I realfagdidaktisk forskning har man i de siste 20 årene vært spesielt opptatt av hvordan elever konstruerer sine egne mentale representasjoner av de størrelser, begreper, lover og teorier som er gjenstand for undervisning i disse skolefagene. Undersøkelser knyttet til fysikkfaglige begreper som kraft, energi, termofysikk og elektrisitet har vært dominerende i disse studiene. Denne forskningen har vært forankret i et **konstruktivistisk** syn på læring.

Konstruktivisme vektlegger at den lærende aktivt søker å skape mening i den mengden av sanseinntrykk som uopphørlig strømmer "inn". Den lærende er derfor en fortolker av sin egen verden, noen vil til og med hevde at den lærende skaper sin egen unike virkelighet. Denne fortolkningen eller skapelsen resulterer i at den lærende konstruerer en mental representasjon av verden eller deler av denne verden. For oss som underviser blir det derfor viktig å ha kjennskap til elevenes egne tanker, idéer og forestillinger om fysikkfaglige begreper.

Det eksisterer en rikholdig terminologi på elevenes egenkonstruerte forståelse av begreper¹². Disse termene fokuserer på ulike sider ved hvordan og hvor forestillingen er dannet, hvordan de er organisert hos eleven og hvilken status disse forestillingene har i en slik struktur. I Norge og Norden har spesielt 'hverdagsforestillinger' blitt mye brukt. Dette har ført til at ordet faktisk ble brukt i de nye fysikkplanene som kom i forbindelse med R94. Jeg kommer tilbake til dette litt senere.

I forbindelse med denne oppgaven finner jeg av ulike grunner, ingen av disse termene å være passende. Jeg bruker derfor det mer generelle 'elevers forestillinger' eller 'alternative forestillinger'. Disse begrepene er generelle og uproblematisk på den måten at de ikke sier noe særlig mer enn at elever har egne forestillinger som de bringer med seg. Ved å bruke 'alternative' fokuseres det på at disse ofte ikke er gode representasjoner av de vitenskapelige idéene som de refererer til.

Elevers forestillinger knytter seg ikke bare til det konkrete faginnholdet. De vil også konstruere sin egen forståelse av hva som konstituerer fysikkens egenart, de vil utvikle holdninger til faget, de vil ha meninger om hva som kjennetegner en typisk fysiker, de vil ha meninger om hva som skal til for å lære seg fysikk og også generelt hva læring er etc. Disse forestillingene kan vi si er metaforestillinger knyttet til fysikkfaget. I min undersøkelse har jeg sett litt på elevenes holdninger til kvantefysikk.

1.2 En kort presentasjon av meg selv og undersøkelsen

Min hovedfagsoppgave er en oppgave i realfagdidaktikk ved Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling, Universitetet i Oslo. Jeg har arbeidet som lærer i fysikk, matematikk og naturfag i videregående skole i 5 år, hovedsakelig ved Eidsvoll vgs. Min fysikkfaglige

¹² 'Alternative paradigmer', 'alternative framework', 'hverdagsforestillinger', 'intuitive idéer', 'facets', 'phenomenological primitives', 'preconceptions', og 'misconceptions', er noen av de mest brukte ordene.

bakgrunn er bred uten én bestemt spesialkompetanse. Min hovedinteresse har alltid vært knyttet til formidlingen av fysikk både i skolen og i andre sammenhenger.¹³

Veldig kort formulert kan man si at min problemstilling har vært å beskrive elevers forståelse av kvantefysikk. Oppgavene som elevene svarte på, viser mer konkret hva slags sider ved kvantefysikken jeg har vært interessert i å undersøke. Hovedsakelig har jeg vært interessert i å kartlegge elevers forståelse av atomer, elektroner og lys for å se om denne i noen grad er forenlig med etablerte kvalitative tolkninger av kvantemekanikken. Jeg ønsket også å finne ut noe om hva elevene synes om denne delen av faget. Jeg har også hatt som målsetning å kartlegge dette emnets status og posisjon i fysikkfaget. Dette har jeg gjort ved å se på læreplanen, lærebøkene og ved å spørre lærerne bl. a. om hvor mye tid de har brukt til denne delen av faget.

Noen av oppgavene har jeg laget selv. Disse ble først utprøvd blant elever som tok sitt første fysikkurs ved Universitetet i Oslo. Tre av oppgavene er hentet fra TIMSS-testen og en fra pilotundersøkelsen til denne testen. To av de tre oppgavene fra TIMSS er dessverre hemmelige og oppgaveteksten kan derfor ikke gjengis her.

Undersøkelsen ble gjennomført våren 1999. Det deltok 20 klasser fra alle deler av landet. Noen få fylker ble ikke representert av ulike årsaker. De skolene som ble invitert til å delta, hadde blitt trukket ut tilfeldig fra fylkesvise skolelister¹⁴. I behandlingen av data ble alle skolene og elevene behandlet anonymt. Svarprosenten var meget god. Det ble utsendt 284 spørreskjema og jeg mottok svar fra 236 elever.

Mitt generelle inntrykk var at dere (lærerne) var interesserte i denne undersøkelsen, noe som spesielt viste seg ved at dere avså en hel undervisningstime i den hektiske perioden like før eksamen.

¹³ Jeg var bl. a. med på å etablere tidsskriftet Symmetri som noen kanskje har stiftet bekjentskap med.

¹⁴ Vi kan likevel ikke slutte at utvalget var representativt fordi trekningsenheten var klassen (ikke enkelteleven), og fordi et kriterium var at helst alle fylker skulle være representert. Trekningen ble derfor foretatt fylkesvis. I et mer formelt språk kan vi kalle et slik utvalg for et tilfeldig stratifisert gruppeutvalg.

2 Kvantefysikkens status i fysikkfaget.

I et skolefag vil det med tiden utvikle seg en tradisjon, eller om man vil en spesiell fagkultur. I fysikkfaget har vi også en slik tradisjon som eksisterer om ikke uavhengig av, så iallefall ved siden av, de formelle direktivene for faget i form av læreplaner og andre forskrifter.

I denne sammenhengen er jeg opptatt av at denne tradisjonen sammen med andre faktorer, vil være med på å definere en slags «status» for de ulike delene i et fag. Denne statusen er for det første et resultat av en prosess med utgangspunkt i læreplanen. De ulike delene i faget blir definert og målbært av denne planen. Dette reflekterer de ulike læreverkene i faget (i større eller mindre grad). Læreboka vil på sin side ha stor innflytelse på undervisningen, altså det som til slutt skjer i klasserommet. Men dette alene er ikke nok i en slik statusbeskrivelse. Et eksempel som illustrerer dette godt er statusen som naturfagdelen i det gamle o-faget i grunnskolen hadde. Et offentlig nedsatt utvalg (med Svein Sjøberg som leder) analyserte naturfagets status i det integrerte o-faget. I sin rapport «Naturfagutredningen» påpekte de at til tross for at planen forutsatte en deling hvor naturfaget skulle ha 50%, besto lærebøkene kun av 25% naturfag (hvorav 5% var til kjemi og fysikk og resten biologi). I klasserommet var det imidlertid kun 10% av o-faget som ble brukt til naturfagdelene, med overveiende vekt på beskrivende biologi.

Når jeg nevner dette er det ikke for å foreta en tilsvarende elendighetsbeskrivelse av fysikkfaget. Hensikten er å vise at det er andre faktorer enn læreplanen som styrer et fag. Alle disse andre faktorene er det jeg har kalt for fagets tradisjon. Noen viktige elementer i en slik tradisjon er:

- eksamen i faget.
- lærernes faglige bakgrunn og holdninger generelt til faget og til de ulike fagemnene.
- utvalget av elever som velger faget, deres holdning til skole generelt og de ulike faglige emnene spesielt.

Jeg ønsker i dette kapitlet og utdype noe av dette nærmere.

2.1 Lærernes syn på faget generelt og kvantefysikken spesielt.

Reform 94 (R94) medførte at de fleste styringsdokumenter for den videregående skolen ble endret. Dette gjelder også læreplanen for fysikkfagene 2FY og 3FY. For flere av studieretningsfagene kom de “nye” fagene i gang først skoleåret 97/98. For fysikkfagets del betyr dette at det nye 2FY-kurset kom i gang skoleåret 97/98, mens det nye 3FY-kurset ble satt i gang skoleåret 98/99. Det vil si at det kullet som gikk ut våren 99 var de første som hadde fulgt de nye læreplanene.

I prosessen fram mot høringsutkast og endelig fagplan fikk man samlet nyttig informasjon om læreres syn på sitt eget fag og R94 generelt.

Mye av kritikken mot R94 var de korte høringsfristene og den effektive igangsettelsen av de nye læreplanene. Fysikkfaget og noen få andre fag var derfor i en særstilling når det gjaldt tid til høring av læreplanen. Januar 1995 ble det invitert til et møte av FUN, Faggruppe for undervisning i Norsk Fysisk Selskap, for å samle fysikere og fysikklærere i den videregående

skolen til en åpen diskusjon om nye læreplaner i fysikk. Det ble på dette møtet besluttet å arrangere et nytt møte senere på vinteren/våren samme år for å ha en idédugnad som kunne gi innspill til læreplangruppa før denne avsluttet sitt arbeid.

Forut for dette møtet foretok Carl Angell og Anders Isnes en undersøkelse blant lærere i fysikk. Et spørreskjema ble sendt ut til alle skoler i landet som hadde tilbud om kurs i fysikk 2FY eller 3FY. Nedenfor følger en kort oppsummering av de resultatene som er interessante i denne sammenhengen:

- Et eller annet må gjøres for å hindre flukten fra faget.
- Vanskegraden og arbeidsmengden i 3FY var for stor.
- Lærerne likte stort sett den eksisterende planen og det faget man hadde.
- Mange lærere ønsket mindre vekt på et historisk-filosofisk perspektiv.
- Likeledes mente mange at man skulle legge mer vekt på dagliglivets fysikk.
- En stor andel lærere mente at basiskunnskaper i klassisk fysikk burde bli styrket i den nye planen. Når lærerne ble spurt om det var nye emner som de ville ha inn, var statikk, rotasjon, vekselstrøm og elektronikk de som ble nevnt av flest lærere.¹⁵
- Læreres forhold til moderne fysikk viste en større grad av polarisering. For kvantefysikk var det slik at ca. 20% av lærerne ønsket denne delen helt ut av den nye planen eller redusert, mens omtrent samme andel ønsket temaet styrket.
- Det ble ikke påvist noen signifikante forskjeller mellom mannlige og kvinnelige lærere. Det ble likeledes ikke påvist noen signifikante forskjeller mellom ulike aldersgrupper.

Undersøkelsen ble presentert på det følgende møtet. Dette ble etterfulgt av en debatt hvor mange av de samme synspunktene kom fram. I tillegg kom det klarere fram at det eksisterte et viktig skille knyttet til synet på fagets overordnede mål/visjoner. En gruppering tenderte mot et konservativt syn hvor fysikkfaget ble sett på som et fag som skal gi et grunnlag for videre studier. Et slik fysikkfag skulle vektlegge utviklingen av et presist språk, matematisering og basiskunnskaper. Dekkende metaforer for dette synet er «hard fysikk» eller «det innoverskuende fysikkfaget». På den andre fløyen hadde man et syn preget av en visjon om at fysikk burde velges av flere elever fordi fysikk er en viktig del av vår kultur. Et slik fysikkfag skulle vektlegge temaer som dagliglivets fysikk, historikk og verdensbilde. Metaforene som sammenfatter denne fløyen er «myk fysikk» eller «det utoverskuende fysikkfaget».

En tilsvarende, men noe grundigere, undersøkelse ble foretatt i 1987 av Svein Lie og Bjørn Sletbak. Også her ser vi at det er først og fremst den moderne fysikken som ønskes redusert i omfang. Over 40 % av de spurte ønsket en reduksjon av pensum i kvantemekanikk, elementærpartikkelfysikk og astrofysikk. I denne undersøkelsen kartla man også i noen grad hvorfor lærerne ønsket disse reduksjonene. Hovedargumentene var følelsen av manglende faglig bakgrunn hos læreren, og spesielt ble elementærpartikkelfysikken betraktet som å være for nære forskningsfronten i faget. Dessuten ble det påpekt at emnet var for teoretisk, lite kvantitativt og det er dårlig egnet for eksperimentelt arbeid i faget. Det er altså en påfallende likhet mellom disse undersøkelsene. Vi ser imidlertid at andelen som ønsker dette emnet redusert, har blitt halvert fra 1987 til 1995. Årsakene til dette vil jeg anta skyldes at “stoffet

¹⁵ En interessant detalj her er at kraftmoment ble tatt med i høringsutkastene til nye planer. I høringen var det ingen som kritiserte dette, snarere tvert om. Likevel ble akkurat dette delmålet fjernet i den endelige planen. Dette viser at prosessen bak en ny læreplan ikke er så åpen som man kanskje skulle ønske seg.

har fått satt seg”, blitt internalisert i fysikklærerens bilde av faget. Dermed vil dette være en sentral del av fysikkfaget også for de som har et innoverskuende syn med vekt på basisferdigheter. Det kan vel også tenkes at de nye fysikklærerne som har kommet inn i denne perioden har bedre faglig bakgrunn i emnet.

Jeg er også fysikklærer og plasserer meg i dette landskapet som en ivrig talsmann for et fysikkfag med perspektiver utover faget i seg selv. I mine fem år som lærer har min kjærighet til faget bare vokst. Som en naturlig konsekvens av et slik kjærighetsforhold, ønsker man å nå ut til flere elever; flere jenter, flere potensielle journalister, flere potensielle diktere etc. Med andre ord alle de som vi ikke når i dag. Fysikkens historie, prosesser, begreper, lover og teorier er en viktig del av vår kultur. Jeg har med dette tonet flagg: Fysikk er et allmennfag som elever bør ha interesse av å velge selv om de ikke kan tenke seg en videre utdanning i realfag! Denne tråden blir tatt opp igjen når jeg senere drøfter resultatene og hva disse har å si for undervisningen av kvantefysikk i 2FY/3FY.

2.2 En liten drøfting av læreplanen

Jeg vil her se noe grundigere på dagens læreplan. I min hovedfagsoppgave har jeg satt dette i et historisk perspektiv ved også å studere de foregående læreplanene. Kort oppsummert viser dette at kvantefysikken kom inn i planverket i 1969. Det har siden den tid skjedd endringer, men det er påfallende hvor små endringene er i innholdet. De viktigste endringene som kan nevnes er:

- Planen som kom i 1976 medførte små eller ingen endringer.
- 1982-planen medførte at behandlingen av Bohr-modellen ble lagt til 2FY, og der har dette emnet befunnet seg siden. Denne planen tok også inn elementærpartikkelfysikken i 3FY.
- Planen som var gjeldende fra skoleåret 1990/91 inkluderte Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner og skymodell med statistisk tolkning. Elementærpartikkelfysikken ble flyttet ned til 2FY.

De første endringene man legger merke til i dagens plan er av generell karakter: Det eksisterer ingen emnelister lenger. De har blitt erstattet av målformuleringer med hovedmomenter. Tilvalgsstoffet er borte og timeangivelser av eksperimentelt arbeid er borte. Mål 6 som omhandler kvantefysikken er ett av syv mål i 3FY-faget og er formulert slik:

Elevene skal kjenne til noen fenomener som først fikk sin forklaring etter framveksten av kvantefysikken

I tillegg må det nevnes at Bohr-modellen og elementærpartikkelfysikken fortsatt er med i 2FY-pensumet.

Jeg regner med at leseren av denne rapporten har læreplanen. Det er nødvendig med denne som et vedlegg dersom du skal ha fullt utbytte av denne delen.

Vi ser at denne planen beholder, presiserer og dermed forsterker, noen emner som har vært deler av fysikkfaget siden 1969. Jeg tenker her på fotoelektrisk effekt og røntgenstråling i 3FY, samt Bohr-modellen i 2FY.

Det nye er imidlertid at all den andre kvantefysikken formuleres i det generelle 6g:

«Elevene skal...kunne gi eksempler på hvordan kvantefysikken bryter med våre hverdagsforestillinger»

Dette er et av de mest upresise målene i hele læreplanen. Umiddelbart vil noen mene at slike åpne formuleringer er uheldige fordi de ikke sikrer at «pensum» er det samme i alle klasser, på alle skoler, i alle fylker. Hensynet til den nasjonale standard ivaretas ikke av slike åpne formuleringer. Dessuten vil mange uttrykke en bekymring fordi elevene ikke kan vite hva som blir prøvd til eksamen med utgangspunkt i en slik formulering. Andre vil muligens si at slike mål er gode fordi de gir handlingsrom for den profesjonelle og autonome lærer.

Det er interessant å registrere formuleringen som er valgt i mål 6g. Det første som slår meg er at ordet «hverdagsforestillinger» brukes, et ord kjent fra fysikdidaktikken. I fysikdidaktikken er ordet en samlebetegnelse for forestillinger som kan antas å ha en rot i hverdagslivet til elevene. Det er neppe en slik betydning av ordet læreplangruppen hadde tenkt seg. Kvantefysikken har så liten hverdagstilknytning at det er lite sannsynlig å finne hverdagsforestillinger hos elevene i dette emnet. Det må derfor sies at dette ordvalget er uheldig. Slik ordet brukes av læreplangruppen må det forstås som «den fysikken eleven allerede har et innblikk i» eller sagt på en annen måte, klassisk fysikk. Det kan vel også tenkes at de forsøker å si noe om at kvantefysikken bryter med vår intuisjon eller sunne fornuft, noe som imidlertid ikke er et kjennetegn kun for kvantefysikken, men heller et viktig trekk ved fysikken som sådan.

Hovedmoment 6g er i det hele tatt en noe merkelig formulering. Dette er ett av flere hovedmomenter som prøver å spesifisere målet, men etter min mening er det mindre spesifikt enn det målet som det er knyttet til! Mål 6 er i utgangspunktet relativt presist. Det eneste som mangler er i grunn en slags liste over hvilke fenomener elevene skal kjenne til. Alle de andre hovedmomentene bidrar i så måte konstruktivt.

Jeg antar at hovedmoment 6g prøver å fange opp noe vesentlig; nemlig at våre elever bør kjenne til hva som er så radikalt nytt med kvantefysikken i forhold til de klassiske fysikkdisiplinene. Dersom dette er hensikten med målet, har de altså ikke lyktes særlig godt i formulere seg klart.

Styrken til dette hovedmomentet er etter min mening at det er så åpent. Dette gir rom for ulike lærebøker, og det gir et stort handlingsrom for læreren. I dette ligger det også en fare, nemlig at sentrale deler av kvantefysikken gradvis forsvinner ut av pensum fordi de er vanskelig å teste til eksamen. Et eksempel på et emne som sannsynligvis er i ferd med å forsvinne, er usikkerhetsrelasjonene. Vi kommer tilbake til dette i neste avsnitt når lærebøkene omtales.

Jeg ønsker også å kommentere hovedmoment 6e (pardanning og annihilering) og 6f (varmestråling).

Pardanning og annihilering var pensum også i planen forut for denne. Der var imidlertid dette plassert i forbindelse med relativitetsteorien. Hva ønsket læreplangruppen å signalisere med å flytte dette fenomenet over til kvantefysikken? Den eneste rimelige tolkningen er vel at de ønsket en kvantefysisk behandling av slike fenomener, noe som tradisjonelt ikke har blitt gjort. I de nye læreverkene gis det heller ikke en fremstilling med vekt på kvantemekaniske aspektene ved pardanning og annihilering. I en kvantemekanisk framstilling ser jeg for meg at bevaring av noen kvantiserte størrelser blir behandlet (bevaring av ladning, spinn, leptontall, baryontall osv.). Dessuten burde man få med pardanning i vakuum som kan forstås gjennom Heisenbergs usikkerhetsrelasjon for energi og tid. Dette ville medføre et brudd på den klassiske energibevaringsloven. Isteden fokuseres det tradisjonelt på slike prosesser som eksempler på klassiske støt med bevaring av bevegelsesmengde og energi. Dette er det forsåvidt ingenting i veien med, men dersom dette har vært hensikten, er målet malplassert.

Noe lignende kan sies om mål 6f. Dette omhandler stråling fra sorte legemer, men når man ser at det er snakk om Plancks strålingskurver, Stefan Boltzmanns lov og Wiens forskyvningslov, blir man litt tvilende til om det egentlig er kvantefysikk det hele dreier seg om. Det kan riktignok sies at Plancks strålingskurver er Max Planck sin løsning av et av de store problemene med den klassiske fysikken ved inngangen til 1900-tallet, nemlig at den ikke klarte å forklare energiutstrålingen fra slike legemer uten å havne i det som har blitt kalt for «ultrafiolett-katastrofen». Kvantiseringen av den elektromagnetiske strålingen var selvsagt en viktig historisk hendelse som peker mot en ny fysikk, men jeg tror likevel i en slik sammenhengen at hovedbudskapet i målet er at elevene skal beherske den formalismen som nevnes i samme hovedmoment. Dette har lite å gjøre med vesentlige sider av kvantefysikken.

Jeg kritiserer ikke punkt 6e og f i seg selv, men kun plasseringen av dem under det målet som omhandler kvantefysikk. 6e burde vært plassert innunder mål 5 som omhandler spesiell relativitetsteori, og hovedmoment 6f kunne muligens passet bedre i forbindelse med astrofysikken, mål 7. Lærebøkene viser også en tolkning av dette som delvis er i tråd med det som foreslås ovenfor.

Hva som til slutt blir stående som fagets «virkelige» mål er et åpent spørsmål. Dette vil være en konsekvens av først og fremst læreverk og eksamensoppgavene i årene som kommer. Når det gjelder læreverk kommer vi noe innom dette i neste kapittel. Hva som vil skje med eksamensoppgavene er det få som vet. Vi har imidlertid en eksamen som er tilbakelagt, samt at vi har en del andre dokumenter som omhandler eksamen i faget. Jeg drøfter dette litt i avsnitt 2.4.

2.3 Kvantefysikk i dagens læreverk

I dette kapitlet ønsker jeg å gi en kort analyse av læreverkene. Jeg velger kun å se på hvordan læreverkene tolker mål 6g. Dette innebærer at jeg overser andre viktige analyser som kunne/burde vært gjort i forhold til mine problemstillinger.

I forbindelse med lanseringen av de nye læreverkene ble vi fortalt at de tre forfattergruppene hadde snakket sammen og blitt enige om en felles tolkning av læreplanen. Det er derfor noe overraskende å registrere at det er store ulikheter i innholdet i de ulike lærebøkene.

Det er ikke min hensikt å utrope noen vinner eller taper blant læreverkene generelt. Det vil imidlertid herske liten tvil om hvilket læreverk jeg synes gir denne delen av fysikken best dekning i den tradisjonelle læreboka, men dette betyr ikke at jeg anser dette som det beste læreverket på markedet. Andre læreverk behandler andre emner grundigere. Det må dessuten nevnes at Ergo har et meget grundig kapittel i sin ressursperm til læreren som omhandler kvantefysikken mye dypere.

Tema	RST	Ergo	Univers
Compton-effekten	X	X	X
Elektron-interferens	X	X	X
Sannsynlighetstolkning	X		
Ny drøfting av atommodeller i 3FY	X		(X)
Tunneleffekten	X		
Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner	X	(X)	
Nullpunktbevegelse	X		

Tabell 2.1: De ulike læreverkenes dekning av mål 6g. Parentes rundt krysset innebærer at dekningsgraden er liten.

Vi kan bruke antallet sider som en indikasjon på hvor stor del kvantefysikken utgjør av hele kurset. Alle læreverkenes er nokså like i så måte. De har mellom 25 - 30 sider, noe som tilsvarer noe i underkant av 10% av hele boka.

Tabell 2.1 ovenfor viser hvilke emner de ulike læreverkenes behandler som en del av mål 6g i planen. Vi ser at læverket RST har en suverent grundig dekning av kvantefysikken. Det vi ellers legger merke til, er at alle læreverkenes bruker relativt stor plass på å behandle elektroners bølgeegenskaper og deBroglie-relasjonen. Bølge-partikkel-dualismen nevnes altså i alle læreverkenes, men med noe ulik betoning. Vi ser også at Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner ikke lenger gjennomgås i alle læreverkenes. Det er derfor tvilsomt om dette emnet vil bli tatt opp til eksamen.

En grundigere analyse av lærebøkene burde inneholdt en analyse av hvordan lærebøkene bruker den historiske konteksten, hvordan de generelt behandler modellbegrepet, konkret hvordan de behandler fotoelektrisk effekt, bølge-partikkel-dualismen, Bohr-modellen etc. Dessuten kunne man muligens analysert et spørsmål som: Hva er hovedbudskapet om kvantefysikken i disse læreverkenes? Her tenker jeg f. eks. på om læreverkenes gir et inntrykk av at kvantefysikken handler om en uforståelig og paradoksal verden som vi ikke kan beskrive på noen god måte, eller om de på noe slags vis forsøker å peke på at vi i dag har en god beskrivelse av verden på dette nivået (kvantemekanikken). Dette har jeg ikke gjort i min oppgave. Dette er et så stort tema at det er materiale for en hovedfagsoppgave i seg selv.

2.4 Budskapet i eksamen V99 og veiledningsdokumenter gitt ut av Eksamenssekretariatet

Fysikkeksamen våren 1999 ble imøtesett med spenning av alle de som på et eller annet slags vis er involvert i fysikkfaget i skolen. Dette skyldes nok at man antar at eksamen er meget styrende for undervisningen i faget. Kanskje kan man si at den tradisjon som eksamen etablerer er den egentlige læreplanen i et fag. Forut for denne eksamenen hadde eksamenssekretariatet gitt ut to eksempelsett som skulle vise hvordan en tenkt eksamen skulle kunne se ut. Dessuten hadde samme institusjon utgitt en generell veiledning i hvordan man løser oppgaver som prøver helhetlig kompetanse og en mer fagspesifikk veiledning for bl. a. fysikkeksamen. Jeg ønsker i dette avsnittet å vurdere i hvilken grad disse dokumentene har et metabudskap om hva slags kunnskapssyn som bør ligge til grunn i vår skole.

Eksempelsettene som ble utviklet og sendt ut til alle skolene, vakte oppsikt og de ble nok diskutert på lærerværelser rundt omkring. En skole prøvde bl.a. å rekruttere til en bred protest

mot de nye oppgavetypene ved å igangsette et kjedebrev. Hvor stort omfang denne aksjonen til sist fikk, kjenner jeg ikke. Mine egne elever fikk tilsendt denne oppfordringen. Vi satte av tid til å se på dette, men elevene kom til den konklusjon at mange sider ved de nye oppgavene var gode. De valgte derfor ikke å sende kjedebrevet videre til nye skoler. Når det gjelder disse settene og deres forhold til kvantefysikken, kan vi kort si at man ikke ser noen eksempler på oppgaver hvor mål 6g prøves. Det er i ett av settene en tradisjonell oppgave om fotoelektrisk effekt satt i en eksperimentell kontekst. Det er også oppgaver knyttet til svarte legemers utstråling. I det andre settet er det en uvanlig oppgave om røntgenstråling hvor elevene skal uttale seg om praktiske sider ved tolkning av røntgenbilder av tenner.

Ved eksamen i 1999 var det heller ingen oppgaver som berører mål 6g. Det var en oppgave som omhandlet pardannelse. Det ble gitt en figur med et boblekammerbilde som viser at et foton går over til et elektron-positron-par. I forbindelse med dette ble elevene bedt om å nevne noen bevaringslover som gjelder for denne prosessen. Dette kunne vært en oppgave med et visst kvantefysisk tilsnitt, men jeg antar at det er få elever som har fått en innføring i kvantemekaniske aspekter ved slike prosesser (se kap. 2.2). Det var også en oppgave som handlet om strålingslover i en eksperimentell kontekst som ikke på noen som helst slags måte var kvantefysisk.

Veiledningsdokumentene som ble nevnt ovenfor, tilkjennegir Eksamenssekretariatets syn på hvordan oppgaver til eksamen skal prøve det som kalles for helhetlig kompetanse. Disse dokumentene sier selvsagt ingenting direkte om kvantefysikken (eller andre deler av fysikkfaget). Det er imidlertid et viktig budskap som spesielt vil berøre denne delen av faget. I sin definisjon av helhetlig kompetanse kan man lese:

Eksamenssekretariatet forstår «helhetlig kompetanse» slik at det omfatter din evne til å bruke det du har lært i forskjellige fag (av kunnskaper og ferdigheter) til å løse oppgaver og problemstillinger i arbeidssituasjoner som også er aktuelle i livet utenfor klasserommet.

Og de fortsetter (etter å ha definert at denne kompetansen også innebærer sosiale ferdigheter og generell læringskompetanse) med å si at:

Slik kompetanse kan du utvikle gjennom det vi kan kalle «virkelighetsnære» oppgaver eller problemstillinger... Betegnelsen «virkelighetsnære» oppgaver sier en god del om hva slags kompetanse som ønskes utviklet og prøvd i R94, nemlig den som også er brukbar utenfor den opplæringssituasjonen du er i. Dette betyr at faglig nytte ikke er den eneste verdien av kompetanse.

Man skal være forsiktig med å analysere slike styringsdokumenter ved å presentere løsrevne sitater slik jeg gjør ovenfor. Disse sitatene viser imidlertid godt det som er mitt helhetsinntrykk av dette dokumentet: God kunnskap er virkelighetsnær, altså praktisk rettet, rettet mot elevens egen hverdag utenfor skolen eller i et fremtidig yrke. Dette protesterer jeg selvsagt ikke på. Det jeg reagerer på er den ensidige fokuseringen på et slik kunnskapssyn. Det allmenndannende perspektivet er helt fraværende i dette dokumentet. Dette står i sterk kontrast til den generelle læreplanen, som presenterer et mye mer allsidig og fruktbart kunnskapssyn.

Kvantefysikken har selvsagt store praktiske konsekvenser, og den er viktig for å forstå bl. a. teknologi som vi bruker i vår hverdag. I en slik sammenheng blir imidlertid problemstillingene ofte komplekse og vanskelige. Dessuten er ikke hovedhensikten med å ha kvantefysikk i skolen å gi elevene en forståelse av sin daglige verden. Enhver god begrunnelse av kvantefysikken vil i stor grad betone det kulturelle og allmenndannende perspektivet.

Formuleringen av kvantemekanikken har hatt en avgjørende betydning for utviklingen av det vi kan kalle for den moderne teknologiske sivilisasjon, og enda viktigere er det kanskje at kvantefysikken har hatt stor innvirkning også på andre fagdisipliner, spesielt filosofi. På denne måten utgjør muligens kvantefysikken en slags brobygger mellom fysikkfaget og andre fag.

Eksamen styrer som sagt i stor grad innholdet i skolefagene og formen på undervisningen. Eksamenssekretariatet har dermed stor makt. Dersom dette kunnskapssynet blir enerådende til eksamen, vil jeg anta at de perspektiver som bl. a. kvantefysikken gir i skolen, vil svekkes.

3 Resultater

Jeg presenterer her resultatene fra min undersøkelse og gir en kort drøfting av noen av disse. Mange av resultatene blir bare referert i teksten uten egne tabeller eller figurer. Hovedfagsoppgaven gir en adskillig grundigere presentasjon av resultatene og metodene som har blitt brukt.

3.1 Bakgrunnsvariablene og lærerspørreskjemaet

Innledningsvis ble elevene bedt om å angi kjønn, hva slags læreverk de bruker og karakter i 3FY til termin 1. Ca. $\frac{1}{4}$ av alle elevene var jenter. Gjennomsnittskarakteren til 1. termin var 3,6. Så langt er dette veldig likt det som var resultatene ved TIMSS og pilotundersøkelsene til TIMSS. Det som imidlertid skiller mitt utvalg ut fra de jeg sammenligner med, er at jentenes karakter til 1. termin er betydelig bedre enn guttenes. Jentene har en gjennomsnittskarakter på 4,0, mens guttenes gjennomsnitt ligger på 3,5. I testen er imidlertid forskjellene små mellom gutter og jenter. Jeg vet ikke hva årsaken til jentenes høye terminkarakter er, og jeg ønsker ikke å spekulere om mulige årsaker. Når jeg nevner dette, er det fordi jeg ønsker at man følger opp dette med studier som er mer fokusert på akkurat dette aspektet.

Fordelingen av læreverk viser det som mange av oss har antatt, nemlig at Ergo er det suverent største læreverket, RST er en god nummer to og Univers har ikke klart å sikre seg noen særlig stor markedsandel. Det har altså vært en endring i valg av læreverk som må karakteriseres som oppsiktsvekkende.

Elevene ble også bedt om å vurdere kvantefysikken i forhold til resten av faget. De ble spurt om de syntes kvantefysikk var mer eller mindre vanskelig, spennende eller nyttig enn resten av faget. Dessuten ble de spurt om de kunne tenke seg mer eller mindre kvantefysikk. Disse resultatene viser at elevene oppfatter faget som noe mindre nyttig og litt vanskeligere enn resten av fysikkfaget.

Jeg har også på grunnlag av disse spørsmålene laget en samlevariabel som skal indikere elevens holdning til faget. Jeg kommer tilbake til denne enkle holdningsindikatoren i forbindelse med en vurdering av elevenes totale prestasjon på testen.

Dere (altså lærerne) ble også gitt et spørreskjema. De fleste av spørsmålene dreide seg som dere husker, om gjennomføringen av testen. Det som er mer interessant er at dere også ble stilt noen enkle spørsmål knyttet til undervisningen i denne delen av faget.

Tabellen nedenfor viser hvor mye undervisningstid som ble brukt totalt til denne delen i 3FY

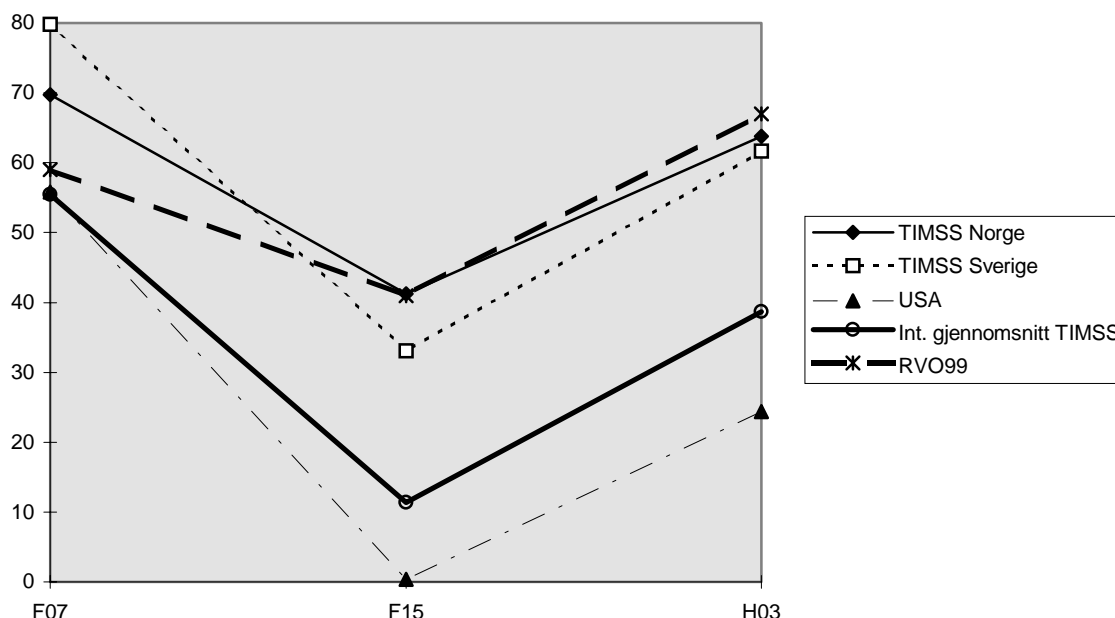
Gjennomsnitt	Standardavvik	Min.	Maks.	Antall lærere, N
11,3	4,4	4	20	20

Tabell 3.1: En oversikt over timetall brukt til undervisning i kvantefysikk

Vi ser at spredningen er veldig stor. Dette viser muligens noe av det som ble nevnt tidligere; noen fysikklærere synes kvantefysikken er en viktig del av fysikkfaget, mens andre helst skulle sett at den hadde blitt redusert kraftig. Et kurs i 3FY er definert å være på 185 undervisningstimer. Basert på min egen erfaring vil jeg anta at det reelle tallet vil ligge mellom 120-130 timer. Kvantefysikken kan i såfall sies å utgjøre mindre enn 10% av fysikkurset.

3.2 Fotoelektrisk effekt

Jeg hadde med tre oppgaver som dreide seg om fotoelektrisk effekt. Alle disse var også med i TIMSS. Jeg vil nedenfor kort presentere oppgavene og resultatene fra disse for min egen test (RVO99¹⁶) og for TIMSS i Norge, Sverige og USA, samt det internasjonale gjennomsnittet for TIMSS. Det er bare en av disse oppgavene som er frigjort. Jeg kan derfor ikke presentere to av oppgavetekstene slik de er, men kun kommentere dem indirekte.



Figur 3.1: Oversikt over resultatene på de tre oppgavene om fotoelektrisk effekt. Min undersøkelse er forkortet til RVO99. F07, F15 og H03 er navnene på oppgavene i TIMSS-undersøkelsen.

Figuren ovenfor viser at elevene i min undersøkelse presterte omtrent som de norske elevene i TIMSS-testen. Jeg har også tatt med Sveriges resultater på TIMSS-testen for å vise at vi muligens kan snakke om en nordisk tradisjon i skolefysikk¹⁷. Dessuten ser vi at de nordiske resultatene er langt bedre enn de internasjonale, eksemplifisert med USA. Man kan ut fra dette ikke trekke noen annen konklusjon enn at i de nordiske landene har elevene en bra forståelse av fotoelektrisk effekt sammenlignet med andre land som det er naturlig å sammenlikne seg med. Dette betyr sannsynligvis at fotoelektrisk effekt har en mer sentral plass i våre kurs enn i en del andre land.

Det denne figuren viser er kun hvor riktig elevene har svart. I disse oppgavene var vi også interessert i å se på hva som kjennetegnet feile svar. I flervalgsoppgavene kaller vi de alternativene som inneholder feil for distraktorer. I fagdidaktiske sammenhenger er vi ofte mer interessert i elevenes valg av disse. Dersom man legger arbeid i å utvikle og teste ut distraktorer, er flervalgsoppgaver veldig gode til å avdekke hvilke forestillinger som er vanlig forekommende.

¹⁶ Denne forkortelsen refererer til mine initialer og ikke en forhenværende organisasjon som skolefolk husker godt.

¹⁷ At det eksisterer en slik nordisk «profil» ser man tydelig av resultatene i TIMSS som presenteres grundig i de bøkene som den norske prosjektgruppen har gitt ut (se punktet «anbefalt litteratur» til slutt i dette heftet)

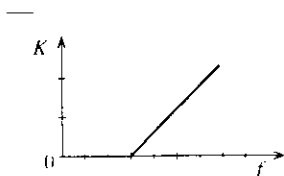
F07 var en flervalgsoppgave med spørsmål om hvorfor et elektron som frigjøres ved fotoelektrisk effekt har mindre kinetisk energi enn fotonets energi. Vi ser at dette er en oppgave som svenske og norske elever scorer relativt bra på. Det var ingen av distraktorene som skilte seg spesielt ut, og det er vanskelig å se at oppgaven kan analyseres på noen annen måte enn langs en riktig/galt dimensjon. Jeg kunne tenkt meg å vise dere denne oppgaveteksten fordi jeg personlig mener at det ikke er noen fullgode alternativer å velge i.

Oppgave F15 er en åpen oppgave hvor elevene får oppgitt løsrivingsarbeidet for tre metaller. De skal ved regning avgjøre om noen av disse vil avgi elektroner når de blir bestrålt med lys med en bestemt bølgelengde. Oppgaven er et godt eksempel på en oppgave som kunne vært gitt som en av delene til oppgave 1 til eksamen.

Ved kodingen av denne oppgaven var det kategorier for både riktige og delvis riktige svar. De prosentene som jeg har oppgitt, er kun prosentandelen som ble kodet til riktig. Noe av forklaringen på at alle profilene peker ned for denne oppgaven (se figur 3.1) kan være at det vil være flere som av ulike grunner ikke svarer på en åpen oppgave. Internasjonalt var det mer enn halvparten av elevene som ikke svarte på denne oppgaven, i Norge og Sverige ca. 30%. Oppgaven løses ved energiberegninger ved å bruke Einsteins formel. Mange får dessuten delvis riktig på oppgaven. Dette kommer ikke fram i denne profilen.

Det er vanskelig å se om noen av de feile svarene representerer alternative forestillinger. Det mest interessante er at en betydelig andel elever klarer å utføre de relevante beregningene, men de tolker ikke disse slik at de klarer å trekke en konklusjon.

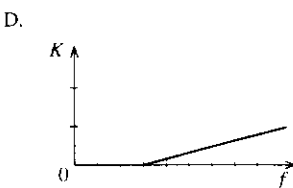
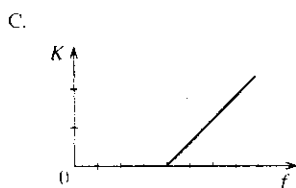
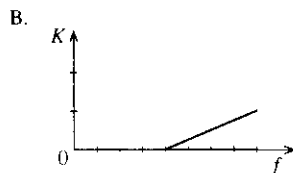
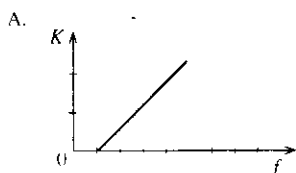
Grafen viser den maksimale kinetiske energien (K) til elektroner som blir emittert fra et metall ved fotoelektrisk effekt, som funksjon av frekvensen (f) til den strålingen som treffer metallet.



Hvilken av grafene nedenfor viser best sammenhengen mellom kinetisk energi og frekvens til et annet metall med mindre løsrivingsarbeid?

Alle grafene har samme frekvensskala og energiskala

Sett en ring rundt én bokstav



	RVO99	TIMSS
A*	67	64
B	4	8
C	11	8
D	15	19
Ikke svart	3	2

Tabell 3.2: Prosentvis fordeling på oppg. 8 i RVO99 og oppg. H03 i TIMSS.

Oppgave H03 er frigitt og jeg kan derfor vise hele oppgaveteksten. Her var det snakk om en grafisk framstilling av elektroners kinetiske energi i forbindelse med et tenkt forsøk. Det er vanskelig å se at de ulike distraktorene beskriver alternative forestillinger som elevene har i forbindelse med fotoelektrisk effekt. Oppgaven er like mye en test på om elevene er i stand til å forstå en grafisk framstilling på

grunnlag av Einsteins likning. Ved hjelp av denne ser man at stigningstallet for alle slike grafer er lik Plancks konstant. Ved et slik resonnement vil man kunne utelukke alt. B og D. For å se at alt. A er det riktige, kan man enten bruke at grensefrekvensen er proporsjonal med løsrivingsarbeidet og dermed må være mindre, eller man kan resonnerer ved å tenke seg den rette linjen forlenget bakover til skjæringspunktet med 2.aksen, noe som vil svare til løsrivingsarbeidet med negativt fortegn.

Vi ser av tabell 3.2 at svarprofilene er ganske lik hverandre for TIMSS i Norge og RVO99. Den mest dominerende distraktoren er D. Det er vanskelig å finne noen god forklaring på dette. Den norske TIMSS-gruppen har foreslått at dette kan skyldes at i dette alternativet er noe bevart, nemlig grensefrekvensen.

Totalt vil jeg oppsummere resultatene på disse oppgavene:

- Det er vanskelig å konkludere med at elevene har god forståelse av fotoelektrisk effekt. Det er kun 30-40% som klarer et regnestykke som kan sies å være relativt enkelt (oppg. F15). Slike regnestykker gis ofte til eksamen i fysikk i Norge. Angell og Lie har anslått at denne typen oppgaver (typisk oppgave 1 til eksamen) har en løsningsprosent på over 60%.
- Fotoelektrisk effekt presenteres i læreverk langs en historisk linje der hensikten er å drøfte at fenomenet ikke lot seg forklare ved hjelp av bølgemodellen for lys. Dersom man skal studere elevers forståelse av fotoelektrisk effekt bør man derfor også ha med oppgaver om hva som skjer dersom man belyser metaller med lavfrekvent lys med høy intensitet. Dette er etter min mening den helt essensielle begrunnelsen for å inkludere fotoelektrisk effekt i våre pensum. Det er argumenter basert på denne observasjonen som gjør oss i stand til å bruke fotoelektrisk effekt som et «bevis» på at lys ikke er klassiske bølger.
- At resultatene fra RVO99 er tilsvarende de fra TIMSS, er ikke overraskende fordi fotoelektrisk effekt er like sentralt i den nye læreplanen som i den gamle planen som var gjeldende for elevene som deltok i TIMSS.

3.3 Heisenbergs usikkerhetsrelasjon

En oppgave som sjekket elevenes forståelse av Heisenbergs usikkerhetsrelasjon ble gitt i forsøkstesten til TIMSS som ble gjennomført i Sverige og Norge i 1993. Den var ikke med i den endelige TIMSS-testen, men den var med i min test våren 1999.

Denne oppgaven er interessant fordi elevene som deltok på forsøkstesten i 1993, hadde fulgt et fysikkurs hvor relasjonene for posisjon-bevegelsesmengde og energi-tid var nevnt som pensum i læreplanen som da gjaldt. I den nye planen er imidlertid denne relasjonen ikke nevnt eksplisitt. I stedet har det kommet en mer generell formulering om at elevene skal kunne gi eksempler på at kvantefysikk bryter med våre hverdagsforestillinger (se også kap. 2.2). Det må likevel nevnes at de to dominerende lærebøkene har med Heisenbergs usikkerhetsrelasjon som et naturlig eksempel på at kvantefysikken bryter med våre hverdagsforestillinger.

Hensikten med å gi denne oppgaven var derfor todelt: I tillegg til å få kartlagt elevers forståelse av Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner, ønsket jeg å se om det var store forskjeller i svarene til elever som har fulgt læreplaner med ulik vektlegging av denne.

Oppgaven som ble gitt var som følger:

12. I en klasse ble elevene bedt om å formulere Heisenbergs usikkerhetsrelasjon (uskarphetsrelasjon).

Hvilket av disse forslagene synes du er det beste?

Sett en ring rundt én bokstav

Alt i naturen er usikkert

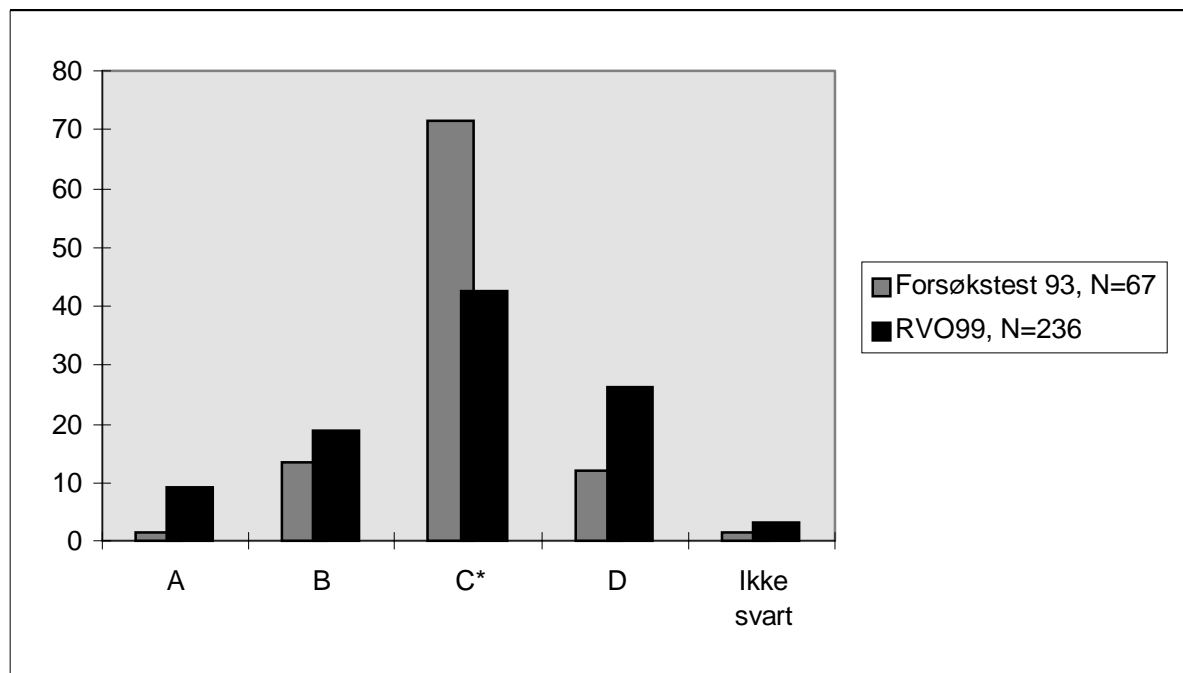
Når vi gjør vitenskapelige eksperimenter, vil resultatene aldri bli helt nøyaktige.

For noen par av fysiske størrelser er det en nedre grense for hvor nøyaktig vi kan måle begge størrelser samtidig.

Når vi gjør vitenskapelige eksperimenter, må vi alltid ta i betraktning den usikkerhet som skyldes de instrumentene (den apparaturen) vi bruker.

Oppgaven er stort sett identisk med oppgaven gitt til forsøkstesten. Den eneste forskjellen er at i forsøkstesten i 1993 ble formuleringen «usikkerhetsprinsipp» benyttet. Dette ble byttet ut for å få ordlyden mer i tråd med det som benyttes i læreverk i dag. Jeg synes det er rimelig å anta at de to oppgaveformuleringene tross dette er sammenlignbare. Det må imidlertid sies at utvalget til forsøkstesten i 1993 ikke var et tilfeldig utvalg. Dette gjør det umulig å sammenlikne resultatene på en god måte.

Diagrammet nedenfor viser resultatene i henholdsvis forsøkstesten og i min egen undersøkelse:



Figur 3.2: Prosentvis fordeling på de ulike alternativene på oppgave om Heisenbergs usikkerhetsrelasjon i forsøkstest 93 og RVO99. Det korrekte alternativet er C.

Her ser vi at andelen som svarer riktig på dette spørsmålet (alt. C) har sunket mye fra 1993 til 1999.

Ordet **usikkerhet** er problematisk i denne sammenhengen. I fysikkfaget snakker vi også om usikkerhet i forbindelse med data som er samlet eksperimentelt, altså måleusikkerhet. Det er en slik forståelse av usikkerhet som ligger bak alternativ B og D.

Distraktor A er et alternativ hvor man ukritisk overfører konklusjoner fra fenomener i kvanteverdenen til den makroskopiske verdenen. Faren med et slik syn er at det kan lede til en relativistisk holdning til kunnskap om naturen. Alt er usikkert, derfor er ingen «teorier» bedre enn andre

Alternativ B fokuserer på at når vi gjør målinger av en eller annen størrelse, vil det alltid eksistere en spredning i resultatene. Dette er en egenskap ved eksperimentene i seg selv.

I alternativ D fokuseres det mer på selve måleutstyret. Det er ikke urimelig å tolke alternativ D som å representere et syn hvor man kan tenke seg at det vil eksistere bedre utstyr en gang i framtiden. Dagens usikkerhet vil dermed kunne tenkes eliminert i morgen. Dette er også en side ved usikkerhet som ikke er overførbart til den betydningen ordet har i Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner.

Alle de gale alternativene velges av langt flere i RVO99. I det hele tatt kan det se ut som om alle alternativene er mer jevnet ut, noe som kan tyde på mer gjetting. Dette kan vi kanskje tolke som at elevene er mer usikre på innholdet i denne viktige relasjonen. Etter min mening er dette et interessant funn som kan indikere at det ikke legges like stor vekt på Heisenbergs usikkerhetsrelasjon i dagens fysikkurs. Dette til tross for at relasjonene nevnes i to av læreverkene, og den kan sies å bli behandlet relativt grundig i ett av dem (se tabell 2.1, kap. 2.3). I forbindelse med høringen av den nye læreplanen i fysikk (og i de andre fagene som fikk nye læreplaner), uttrykte noen misnøye med at presisjonsnivået hadde blitt svakere. Denne oppgaven indikerer at en slik bekymring kan være berettiget. Faren er at når eksamen blir laget, vil man måtte definere disse uklare målene ved hjelp av læreverkene. Et emne som ikke dekkes av alle læreverker vil dermed gradvis kunne forsvinne ut av faget.

Usikkerhetsrelasjonen er etter min mening en fin måte å vise fundamentale sider ved kvantefysikken. Den er en enkel matematisk formulering, men den gir samtidig rom for mange gode kvalitative drøftinger. Med utgangspunkt i denne relasjonen kan man drøfte kvantefysikkens indeterministiske og probabilistiske natur. I tillegg kan man ved hjelp av denne relasjonen forklare mange fenomener i naturen (f. eks. radioaktivitet, fusjon og atomers stabilitet) og teknologiske anvendelser (f. eks. tunnel-mikroskopet, halvlederteknologi).

3.4 Bølge-partikkel-dualisme

Nedenfor presenteres oppgave 4 og 5 fra min undersøkelse som hadde til hensikt å kartlegge elevenes syn på hva lys og elektroner «egentlig er».

4. Ta stilling til hvilken av påstandene nedenfor som er riktig:

Sett en ring rundt én bokstav

- A. Lys er både bølger og partikler.
- B. Lys er partikler.
- C. Lys er enten bølger eller partikler.
- D. Lys er bølger.
- E. Lys er verken bølger eller partikler.

Begrunn svaret ditt:

5. Ta stilling til hvilken av påstandene nedenfor som er riktig.

Sett en ring rundt én bokstav

- A. Elektroner er både bølger og partikler.
- B. Elektroner er partikler.
- C. Elektroner er enten bølger eller partikler.

- D. Elektroner er bølger.
- E. Elektroner er verken bølger eller partikler.

Begrunn svaret ditt:

Vi ser at det er vanskelig å si at det er ett klart riktig svar og fire som er feil. Min vurdering er at alt. E er det beste alternativet. Det er viktig å merke seg at elevene gis mulighet til å begrunne sine svar på denne oppgaven. Det er disse begrunnelsene jeg har lagt mest arbeid i å analysere.

Resultatene av flervalgsdelen i oppgaven vises i tabell 3.3 nedenfor

	Lys	Elektroner
A	77	36
B	2	59
C	5	4
D	9	0
E	8	1

Tabell 3.3: Prosentvis fordeling på oppgavene 4 (lys) og 5 (elektroner).

Vi ser at elevene i langt større grad oppfatter elektroner som partikler, mens lys har en tosidig natur. Hva denne tosidige naturen består i er mer uklart.

Nedenfor gir jeg en punktvis oppsummering av hva elevenes begrunnelser forteller oss:

- Elevene som velger at lys er både partikkel og bølge, klarer ikke å gi en god begrunnelse for hvorfor lys er både bølger og partikler. Elevene nevner ofte at enkelte forsøk kan best forstås dersom vi ser på lys som partikler, mens andre forsøk viser at lys kan ses på som bølger. Dette argumentet kan imidlertid ledes videre til en konklusjon som svarer til både A, C og E ovenfor. Det filologiske/filosofiske problemet om hvorvidt det er både/og, enten/eller eller verken/eller drøftes altså ikke. Likevel må det være en årsak til at så mange velger alternativet både/og istedet for enten/eller.
- Av de elevene som svarer at elektroner er partikler, svarer mange at disse partiklene har enkelte bølgeegenskaper. Hva disse består i er ikke alltid like eksplisitt.
- Det er imidlertid en liten gruppe elever som gir et svar som klart uttrykker at fotoner/elektroner er partikler som beveger seg i bølger. Jeg tillegger disse gruppene betydning til tross for at de er så små. Jeg vil anta at flere av de mange som ikke klarte å gi gode grunner for sine syn, også ville ha blitt plassert i denne gruppen dersom oppgaven hadde vært litt mer eksplisitt i forhold til dette.
- Selv om alternativene i denne oppgaven inneholder ordet 'er', viser mange elever en mer nyansert holdning til dette i sine svar. Det snakkes om natur, tendens eller egenskaper. Særlig beskrives lys som bestående av tenkte eller hypotetiske objekter. Hvordan de i virkeligheten er kan vi ikke si. Elektronene oppfattes imidlertid i større grad som partikler som eksisterer i form av en liten klump med masse og eventuelt ladning. Dette viser tydelig at elevene har et klassisk partikkelsyn på elektroner.

I en annen oppgave ba jeg elevene om å forklare hva en bølge generelt er og hva bølgelengden til elektroner forteller oss. Denne oppgaven ble nok oppfattet som vanskelig. Mange elever svarte ikke. Av de som svarte, fokuserte de fleste på den første delen av oppgaven, det å

forklare hva en bølge er. Disse forklaringene har jeg ikke lagt så stor vekt på å analysere veldig grundig, men oppsummert kan vi si at elevene har en enkel forståelse av bølger. Bølger er det samme som stående bølger, noe som kan tolkes som et statisk syn uten fokus på at det er «noe» (informasjon/energi) som brer seg.

Når elektronets bølgelengde skal forklares er det en gruppe som kort og godt knytter dette til deBroglie-formelen uten noen ytterligere kommentar. Det er imidlertid flere som knytter bølgelengden til energi ved å si at jo mindre bølgelengde, jo mer energi. Dette er ikke direkte feil, men det viser muligens at bølgelengden forstås på samme måte som lysets bølgelengde

($c = \lambda f$ og $E = hf = \frac{hc}{\lambda}$). Det mest slående er at av 236 elever er det kun én som gir et svar hvor bølgelengden blir tolket ved hjelp av sannsynlighetbegrepet.

Det denne oppgaven og de to foregående viser oss, er imidlertid at bølge-partikkel-dualismen oppfattes på en overfladisk måte. Det fører ikke til at mange elever reorganiserer sin forståelse av elektroner og fotoner. Det er tvert imot grunn til å tro at bølge-partikkel-dualismen gjør det mulig for en elev å beholde og muligens forsterke sine klassiske forestillinger. Det er etter min mening tvilsomt om bølge-partikkel-dualismen er det som skal til for at elevene skal gi slipp på en klassisk forståelse av elektroner/lys for å gripe tak i en mer kvantefysisk forståelse.

3.5 Atommodeller

De få undersøkelsene som er gjennomført knyttet til elevers forestillinger innen kvantefysikk, har for en stor del vært fokusert rundt elevenes forestillinger av atomer. Disse har entydig vist at elever som følger en tradisjonell undervisning i atomfysikk (noe som vil inkludere bl. a. Bohr-modellen) ofte har et mekanistisk bilde av atomet, enten i form av en skallmodell eller som en orbitalmodell hvor elektronet sirkler rundt kjernen i en bestemt bane. Ingen av disse forestillingene kan sies å være forenlige med en kvantemekaniske beskrivelse av atomet.

11. Nedenfor står det noen beskrivelser (med tilhørende figurer) av elektronet i et hydrogenatom.

Hvilken av disse passer best med hvordan du ser for deg dette?

Sett en ring rundt én bokstav.

A. Elektronet beveger seg rundt atomkjernen i en bestemt sirkelbane med høy hastighet.

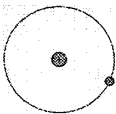
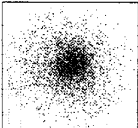
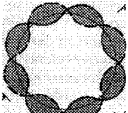
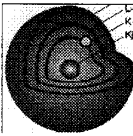

B. Elektronets posisjon på et gitt tidspunkt er helt ubestemt og kan derfor ikke visualiseres.

C. Elektronets posisjon på et gitt tidspunkt kan beskrives av en elektronsky

D. Elektronet beveger seg rundt atomkjernen langs en bølgeformet sirkelbane.

E. Rundt atomkjernen er det flere elektronskall som elektronet kan være i. Når atomet er i grunntilstanden vil elektronet være i det innerste skallet.

F. Elektronet følger en sirkelbane som hele tiden dreier.

A	3
B	9
C	37
D	1
E	31
F	16
Ikke svart	4

Tabell 3.4: Prosentvis fordeling av svar på oppg. 11 om atommodeller

To av oppgavene på min egen test dreide seg om elevers forestillinger av atomets oppbygging. En av disse var en flervalgsoppgave hvor noen av distraktorene har som hensikt å fange opp nettopp disse kjente forestillingene. Vi ser av resultatene i tabell 3.4 at noe mer enn en tredjedel av elevene velger skymodellen (C). Denne modellen drøftes i ett av læreverkene (RST) og elever som har brukt dette læreverket i sin undervisning velger i større grad denne modellen. Vi legger ellers merke til at mange

elever synes å foretrekke skallmodellen (E) mens svært få elever velger den enkle orbitalmodellen (A). Den litt mer sofistikerte orbitalmodellen (F) velges også av ganske mange. Det er dessuten overraskende at nesten 10% mener at deres egen forestilling av dette er at det ikke er mulig å visualisere atomet (B). Disse elevene har opp gjennom årene sett visualiseringer av atomet i forbindelse med forklaring av periodesystem og kjemiske reaksjoner, og de har dessuten fått en grundig gjennomgang av ulike atommodeller i det foregående skoleåret med vekt på Bohr-modellen. Det er derfor noe merkelig at de nå plutselig ikke klarer å se for seg et atom for sitt indre øye. Det kan hende at dette velges fordi ordet visualiserbart oppfattes som komplisert og at det dermed har en «vitenskapelig» klang?

Det er vanskelig å sammenlikne disse resultatene direkte med tilsvarende undersøkelser fordi det er ulike spørsmålsformat og formuleringer. Vi ser imidlertid at den enkle orbitalmodellen velges av langt færre i min undersøkelse enn det andre rapporterer. Jeg vil anta at den enkle orbitalmodellen ville blitt nevnt av mange dersom de selv skulle ha tegnet atomet slik de forestiller seg dette.

Dette antar jeg med bakgrunn i den andre oppgaven som jeg har hatt om atommodeller. Der ble elevene bedt om å sammenlikne solsystemet med oppbyggingen til et atom. De aller fleste som svarer nevner bare likheter. Dersom det er ulikheter som nevnes, er dette ofte bare ulikheter knyttet til skaleringer og antall planeter/elektroner som kan befinne seg i de ulike

banene. Tilsammen er det 70% av elevene som fokuserer på likhetene og disse enkle ulikhetene. Ulikheter knyttet til en kvantemekanisk beskrivelse av atomet nevnes knapt av noen elever. Det er dessuten kun 25% som nevner eksplisitt at vi her snakker om modeller av atomet.

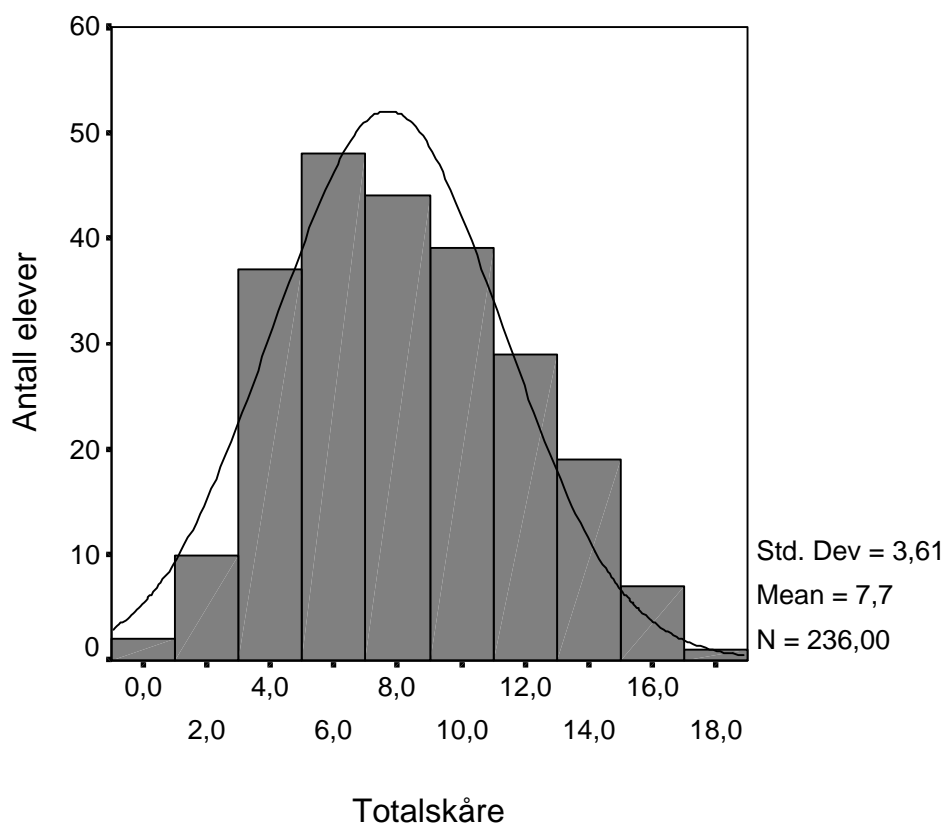
Jeg vil tilsvarende anta at grunnen til at skymodellen synes å være så mye mer populær i min undersøkelse enn i andre undersøkelser, er at de i RVO99 hadde muligheten til å velge denne modellen.

Jeg har også kartlagt forskjellene i elevenes svar mellom disse to oppgavene. Ca. 40% av elevene har et klart samsvar mellom svarene sine på disse to oppgavene. Dette viser at det er vanskelig og tildels farlig å tolke for mye ut fra elevers svar på få spørsmål. Svar kan variere fordi oppgaveformatene og de ulike kontekstene man velger å ha som ramme for oppgaven, utløser ulike sider ved elevers forståelse av et begrep.

3.6 Analyse av totalskåre

Beskrivelsen av resultatene i kapitlene har stort sett dreid seg om innholdet i elevenes svar. Det har vært liten fokusering på hvorvidt dette har vært korrekte eller gode svar. Jeg har knyttet en skåre til hver av oppgavene i undersøkelsen. Totalskåre er summen av alle disse delskårene. For noen av oppgavene ble det gitt kun ett poeng for riktig, mens det for andre ble gitt 2 poeng for helt riktig og ett poeng for delvis riktig.

Av figuren på neste side ser vi at denne totalskåren er en litt skjev normalfordeling med et gjennomsnitt som tilsvarer at færre enn halvparten av oppgavene er besvart på en god måte. En grundigere forklaring av hvordan variabelen totalskåre er konstruert tar jeg ikke med her.



Figur 3.4: Histogram for totalskåre. Kurven som vises er en normalkurve.

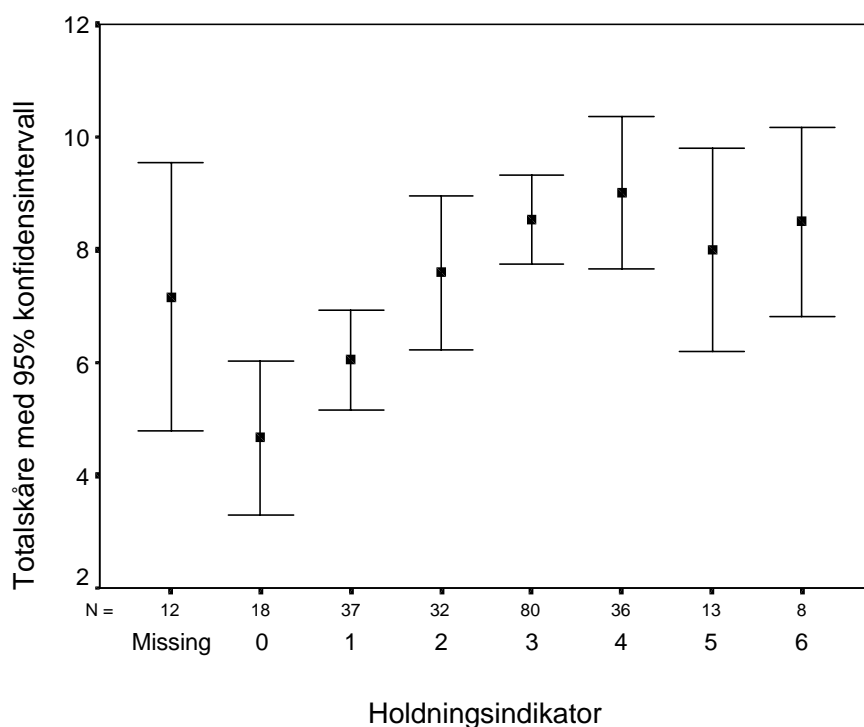
Jeg har også delt elevene inn i tre grupper avhengig av hvor stor skåre de har.

Skåregruppe	Kriterium	Antall	Andel
1	Totalskåre ≤ 5	79	33%
2	$6 \leq \text{Totalskåre} \leq 10$	101	43%
3	Totalskåre ≥ 11	56	24%

Tabell 3.5: Kriterier for inndeling i skåregrupper og størrelsen på gruppene.

Denne inndelingen er gjort for enklere å kunne analysere hvor godt hver enkelt oppgave skiller mellom sterke og svake elever¹⁸, samt at det blir lettere å analysere og presentere sammenhengen mellom totalskåre og andre variable.

En variabel som det er interessant å sammenlikne med, er holdningsindikatoren (se kap. 3.1). Figuren nedenfor viser sammenhengen mellom denne indikatoren og totalskåre. Det må påpekes at selv om man påviser en sammenheng mellom to variable, kan man ikke konkludere noe om årsak og virkning mellom disse.



Figur 3.5: Sammenhengen mellom holdning og totalskåre. Linjene representerer 95% konfidensintervall.

I denne figuren er det slik at 0 representerer en ekstremt negativ holdning til kvantefysikk relativt til resten av faget, og 6 representerer en ekstremt positiv holdning. Vi ser at det ikke er signifikante¹⁹ forskjeller mellom nabogrupper her, men vi ser likevel en klar tendens til at

¹⁸ Dette er et viktig kriterium når man skal konstruere tester som skal brukes til å skille mellom elever. Man kaller denne evnen hos en oppgave for diskrimineringssevne.

¹⁹ Med signifikant forskjell mener jeg at det er mindre enn 5% sannsynlighet for at denne forskjellen skyldes tilfeldigheter (95% konfidensintervall). Linjene i diagrammet ovenfor illustrerer slike konfidensintervall.

elever med negativ holdning har dårligere resultat på testen, mens elever med nøytral til positiv holdning skårer bedre²⁰. Disse ulikhetene er signifikante mellom noen av gruppene. Vi ser f. eks. at det er signifikante forskjeller mellom de som har en holdning på 0-1 og de som har 3-4.

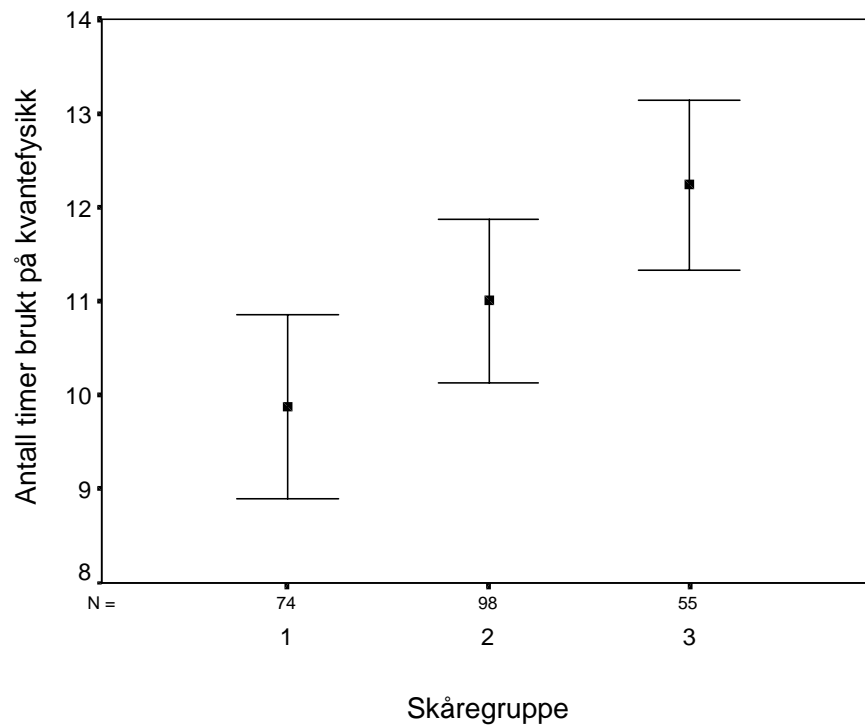
Til tross for at dette er selvsagt, skal vi alltid ha det in mente. Å arbeide med holdninger til faget er viktig. Det er derfor viktig at elevene får føle undring, mestring og glede også i fysikktimene. Det er ikke noen enkle fasitsvar på hvordan vi kan oppnå dette. Av egen erfaring vet jeg at det er ulike typer elever i fysikkgruppene. Noen synes det er forsøk som gjør faget morsomt, andre synes regning er gøy (når de får det til selvsagt), andre er interessert i mer filosofiske spørsmål og undring over hverdagsfenomener. Uansett hva fasitsvaret er, mener jeg derfor at variasjon i arbeidsmåter, oppgavetyper etc. er helt sentralt for å nå flest mulig elever. Jeg er dessuten av den mening at lærerens engasjement er veldig smittsomt. Tiltak for å bevare og forsterke dette engasjementet er veldig viktig.

Det er ellers verdt å merke seg at det ikke er en signifikant forskjell mellom gutter og jenter i totalskåre. Dette er et avvik i forhold til TIMSS. I min undersøkelse gjør faktisk jentene det litt bedre enn guttene, men forskjellen bør altså ikke tillegges noen vekt. Grunnen til at jentene gjør det relativt bra i denne testen, kan være at oppgavene bærer fellestrekk med de oppgavene man i TIMSS har døpt til jenteoppgaver. Dette var oppgaver hvor jentene skåret bedre enn guttene i Norge. Dette var veldig varierende oppgaver fra ulike felt, men de hadde det til felles at de ikke hadde noen hverdagstilknytning. Dette kan også sies om oppgavene i RVO99.

Vi så i kap. 3.1 at det var betydelige forskjeller i undervisningstid brukt på denne delen av fysikken. Figuren nedenfor viser sammenhengen mellom skåregruppe og undervisningstid. Vi ser at det er en klar tendens. Den beste fjerdedelen av elevene (skåregruppe 3) har i gjennomsnitt hatt 2 timer mer undervisningstid enn de med lavest skåre på testen²¹.

²⁰ Det er viktig å legge merke til at jeg ikke sier noe om årsak-virkning her.

²¹ Jeg spurte lærerne om undervisningstiden. Enheten her er derfor klassen, og $N = 20$. De konfidensintervallene som vises i figuren er beregnet ut fra elevtallet, altså $N = 236$. Disse stolpene lyger derfor noe.



Figur 3.6: Sammenhengen mellom skåregruppe og antall timer brukt på kvantefysikken. Linjene representerer 95% konfidensintervall.

4 Avsluttende kommentarer

Jeg ønsker i dette kapitlet å utdype noe av det som har kommet fram så langt, samt drøfte noen mulige konsekvenser dette kan ha for undervisningen av kvantefysikk i 2FY/3FY

4.1 Kvantefysikk, et helt spesielt emne i fysikken

Jeg ønsker først å reflektere over hva som er så spesielt med kvantefysikken sammenlignet med andre deler av faget. Dette vil ha mye å si for hvordan man formidler faget i skolen.

Kvantefysikken skiller seg fra de klassiske fysikkdisiplinene i mange henseende. Det er for det første en relativt ny disiplin hvor sentrale teoretiske aspekter befinner seg i forskningsfronten. Et eksempel på dette er elementærpartikkelfysikeren som gjør eksperimenter i CERN. Avstanden mellom forskningsfront og skole er stor, og vil i seg selv kunne medføre et formidlingsproblem, noe vi har sett at enkelte lærere opplever som et hovedproblem i forbindelse med kvantefysikken. Det litt ironiske er at det gamle Lektorlaget hadde et utvalg som så på fysikkfaget i 1964. Dette utvalget ville ha en sterkere fokusering på moderne fysikk for å komme nærmere forskningsfronten:

Fysikkundervisningen i gymnaset ligger i dag for langt etter forskningsfronten. Svært lite av utviklingen innenfor fysikken i det 20. århundre har fått plass i det nåværende pensum, både når det gjelder idéer og resultater

(Norsk Lektorlags gymnasetvalg: *Gymnaset i søkelyset*, 1964, side 220)

Kvantefysikken er dessuten en sterkt matematisert teori. Denne matematikken er i seg selv vanskelig tilgjengelig og medfører at den som vil komme kvantefysikken skikkelig innpå livet, bør studere matematikk utover grunnfagsnivå. Dette vil medføre et problem når man skal formidle kvantefysikk på et lavere nivå. I formidlingen av de matematiske modellene må man utvikle mer visuelle, fysiske modeller og uttrykke disse idéene i et mer forståelig språk. Dette vil implisere at man tvinges til å bruke begreper fra det klassiske domenet som f. eks. 'bølge' eller 'partikkel'. Dette vil innebære at formidlingen av det genuint kvantemekaniske, det som skiller kvantefysikk fra annen fysikk, er vanskelig.

Formidlingsproblemet oppstår også av det faktum at kvanteverdenen har en annen ontologisk²² status selv for den mest naive realist som måtte finnes. Man kan ikke direkte erfare de kvantefysiske objektene med sansene. Man må ta til takke med makroskopiske instrumenter som gjør målinger som indirekte sier noe om eksistensen til slike objekter. Bohr uttrykte selv at:

There is no quantum world. There is only an abstract physical description. It is wrong to think that the task of physics is to find how nature is. Physics concerns what we can say about nature.

Med dette vil nok ikke Bohr benekte at de objektene man studerer i kvantemekanikken eksisterer, men han sier bare at vi ikke kan si noe om den underliggende realiteten. Kvantefysikken blir på denne måten knyttet til epistemologi, altså studiene av kunnskapens natur. Dette innebærer at i tolkningen av kvantefysikken blir filosofiske eller metafysiske betraktninger sentrale.

²² Med ontologi mener vi læren om det værende, altså naturen eller tingene i seg selv.

Faren når man formidler kvantefysikk er at man lar slike aspekter være uuttalt (og kanskje utenkt) og dermed oppnår man ikke å være bevisst hva slags syn man selv formidler. Man kan dermed ubevisst formidle et syn på naturen som kan betegnes som *naiv realisme*, hvor vår kunnskap om verden formidles å være absolutte sannheter som er mer eller mindre fullstendig. Alternativt kan man risikere å havne i grøfta på motsatt side, og formidle et *radikalt konstruktivistisk* syn hvor vår kunnskap om verden ses på som subjektiv, ufullstendig, midlertidig og usikker.

Det kan i denne sammenhengen nevnes at det finnes andre tolkninger enn den konvensjonelle basert på Bohrs komplementaritetsprinsipp, hvor EWG (Everett, Wheeler og Graham) metateoremet er en av de mest ytterliggående: Man kan gi en tolkning av kvantemekanikken ut fra den matematiske formalismen i seg selv! Som konsekvens har dette blant annet at man må akseptere eksistensen av mange universer som stadig splittes i nye universer. Denne tolkningen (og andre) er bærere av en mystisisme og tilhørende metaforer som kan være interessant å utnytte i en undervisningssammenheng. En annen tolkning er Bohms alternativ. Han ønsker å beskrive den underliggende realiteten i seg selv, og formulerer en tolkning av kvantemekanikk som blant annet innebærer at partikler følger bestemte baner. Vi finner dessuten fortsatt en debatt om hvorvidt vi kan oppfatte kvantemekanikken som en komplett teori om verden på dette nivået. Den orienterte leser vil umiddelbart kjenne igjen denne debatten fra midten av 30-tallet hvor Einstein, Podolsky og Rosen argumenterte for at teorien ikke var komplett fordi:

...every element of the physical reality must have a counterpart in the physical theory.

(Einstein m. fl. 1935)

Dette medfører at en del av formidlingsproblemet berører hvorvidt vi skal legge vekt på ulike tolkninger i de innledende fysikkurs. Dette vil gi et ønskelig budskap om at fysikken er åpen og stadig under utvikling. Samtidig eksisterer det en fare for at noen elever vil bli stående igjen forvirrede og desillusjonerte. Mange setter nok pris på fysikken fordi den tilsynelatende gir oss sikker viten av hvordan verden er.

Slike diskusjoner er dessuten meget krevende og det er ikke sikkert at dette vil føre oss nærmere målet som jeg vil si er at elevene til en viss grad skal ha oppnådd en forståelse av hva som skiller kvantefysikk fra annen fysikk.

4.2 Hva mener vi med forståelse i fysikk

I min egen praksis som lærer er jeg opptatt av at elevene skal forstå den fysikken som de lærer. Men hva betyr det egentlig å forstå fysikk? Har man forstått fysikk når man gjør det bra til eksamen? Har man forstått kvantefysikk dersom man kan sette opp Schrödingerlikningen for et hydrogenatom og regne ut energinivåene? Eller for å ta et eksempel som er mer knyttet til det vi kan forvente at våre elever skal være i stand til: Har man forstått noe av kvantefysikken dersom man kan regne ut bølgelengden til et elektron ved hjelp av den

formelen som sier at $\lambda = \frac{h}{p}$? Vi så i kap. 3.4 at svært få elever klarte å gi en meningsfull

tolkning av denne bølgelengden. I TIMSS ble det gitt en oppgave hvor elevene skulle regne ut denne bølgelengden for et elektron som hadde en viss fart. Denne oppgaven mestret mer enn 70% av elevene. Elevene kan altså regne ut denne bølgelengden, men de kan ikke knytte noe meningsinnhold til den størrelsen de har regnet ut. Kan hende er det vanskelig å gi dette begrepet en mening for elever på dette nivået, men vi må uansett akseptere at disse resultatene

viser at det å regne ut bølgelengden til elektroner er en meningsløs aktivitet for de aller fleste elever. Vi så noe tilsvarende for en av oppgavene om fotoelektrisk effekt hvor mange elever behersket den formelle regningen, men de klarte ikke å tolke svaret slik at det ga noen mening i forhold til problemstillingen.

Andre har bedre enn meg klart å uttrykke hva jeg legger i ordet forståelse:

Students are often in full command of science terminology, and for example, might be able to provide the names of animals and plants, to write down the Schroedinger equation without any difficulties, or to provide key examples when presented with formulas. However, there very often is no deep understanding behind the facade of stored factual knowledge. Understanding, as we use the term here, includes an awareness of the basic qualitative ideas in which the facts and formulas are embedded and the ability to employ that knowledge in new situations. In this context, mere retrieval of stored items from memory does not indicate understanding.
(Duit og Treagust [1])

I forbindelse med gjennomføringen av de nye læreplanene ble det utarbeidet en metodisk veiledning for lærerne som skulle bruke læreplanene. Her ble det poengtert at verbene i målene fulgte en taksanomi, Blooms taksanomi. Jeg nevner dette fordi denne taksanomien rangerer de kognitive ferdighetene i et hierarki som fra bunn til topp er 1. kunnskap om fakta og prinsipper, 2. forståelse og innsikt, 3. anvendelse, 4. analyse, 5. syntese og 6. kritisk vurdering. Vi ser at forståelse brukes om en lavere ordens kognitiv ferdighet. Dette er ikke forenlig med min oppfattelse av begrepet.

Jeg fokuserer altså på at forståelse innebærer at man kan gi uttrykk for sentrale kvalitative sider ved begrepet. Begrepet akselerasjon kan tjene som eksempel. Mange av våre elever kan bruke bevegelseslikningene for fritt fall, men prøv en gang å stille spørsmål som: "Forklar hva vi i fysikken mener med ordet akselerasjon?" Andre har stilt dette eller lignende spørsmål med nedslående resultater, selv blant universitetsstuderende.

Hva vil det imidlertid si å forstå kvantefysikk? Jeg kan nok med stor selvtillit si at jeg har en god forståelse av Newtons lover, men jeg kan ikke med hånden på hjertet si at jeg har forstått kvantefysikk. Hva innebærer det f. eks å forstå den sammenhengen mellom bevegelsesmengde og bølgelengde som deBroglie framsatte? Målet i den videregående skoles fysikk kan selvsagt ikke være at elevene skal oppnå en dyp forståelse av kvantefysikk. Vi må imidlertid kunne formulere oss noe mer beskjedent og si at elevene til en viss grad skal forstå hva som skiller kvantefysikk fra annen fysikk, herunder at de skal kunne gjøre rede for noen av de kvalitative aspektene ved denne nye fysikken. Jeg skal komme mer tilbake til dette i det neste kapitlet, men mitt håp er nok at elevene i større grad skal få en innsikt i kvantefysikkens indeterministiske og probabilistiske beskrivelse av verden. Jeg tror også elevene vil sette større pris på kvantefysikken dersom det i større grad blir fokusert på makroskopiske konsekvenser av denne kvantefysikken.

4.3 Mulige konsekvenser for undervisningen av kvantefysikk

Jeg vil i dette avsluttende kapitlet punktvis gjøre rede for mulige konsekvenser for undervisningen av kvantefysikk i 2FY/3FY basert på funn i min undersøkelse, analyse av læreplaner og lærebøker og mitt syn på vektlegging av kvalitativ fysikkforståelse. De forslag

som jeg kommer med må oppfattes som utgangspunkt for en debatt, ikke som en slags endelig fasit.

Det første jeg vil understreke, er at dagens læreplan i fysikk i utgangspunktet gjør det mulig for oss å legge vekt på nesten hva vi vil i kvantefysikk. Dersom vi frigjør oss fra lærebok og eksamen, kan man bruke læreplanen til å rettferdiggjøre nesten en hvilken som helst innfallsvinkel til dette emnet. Vi har altså et handlingsrom som det er fritt for enhver av oss å benytte. Generelt håper jeg mange har et slik syn. Jeg har nemlig sterk tro på at en lærer som får undervise etter sitt eget hjerte, vil oppleve undervisningen som mer meningsfull. Dette vil medføre at han/hun bringer med seg et engasjement i timene som er smittende. Dette er muligens en naiv og lite realistisk holdning når man kjenner til hvilken status og betydning eksamen har for både elever og lærere.

Jeg vil også påpeke at dersom vi ønsker å prioritere en nasjonal standard i fysikk, må man gjøre noen grep med læreplanen. Jeg har vist at læreplanmål 6g ikke er særlig styrende. Dette målet bør i såfall erstattes av ett eller flere mer presist formulerte hovedmomenter. Jeg har ellers foreslått at læreplanen endres ved at hovedmomentene 6e og f flyttes til andre mål i planen (se kap. 2.2)

Jeg registrerte i kap. 2.2 at Bohr-modellen og elementærpartikkelfysikk i sin tid ble plassert i 2FY planen. Dette mener jeg er en uheldig endring. Ved å gjøre dette er det umulig å gi en meningsfull undervisning av disse emnene. Jeg frykter at når elevene får presentert Bohr-modellen uten først å ha et innblikk i kvantefysikk, vil de få forsterket sine klassiske/konkrete forestillinger av atomer som solsystemer i miniatyr. Elementærpartikkelfysikken kan lett få et preg av å være tørr, leksikalsk faktakunnskap. Dersom man først har etablert verktøy som Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner og enkel spesiell relativitetsteori, kan man f. eks. oppnå en forståelse for levetid og rekkevidde for ulike partikler.

Et moment som jeg foreløpig ikke har berørt, er det merkelige faktum at den moderne fysikken er den eneste fysikken som er fremstilt langs en tilnærmet rendyrket historisk akse. Når vi skal undervise våre elever i klassisk fysikk, tar vi utgangspunkt i fysikken selv, uten å forklare alle de enorme sprangene i kunnskap som preget utviklingen fra et aristotelisk syn til et newtonsk syn. Historiske fakta og skildringer kan bli nevnt, men da i uavhengige bokser eller essays ved siden av «den egentlige» fysikken. Den moderne fysikken dreier i hovedsak rundt enkelte fenomener som definerte randsonen og tokningsproblemene i det som blir kalt for *gammel kvantemekanikk* på 20-tallet. Det er riktignok mange som har påpekt at det er viktig å fokusere på historikk i fysikkundervisningen. Et slik syn argumenterer jeg ikke mot. Jeg er imidlertid av den overbevisning at fokus på disse semiklassiske modellene ikke vil hjelpe eleven til å oppnå et slags personlig «paradigmeskifte». Man bør derfor i større grad unngå bruk av f. eks. Bohr-modellen og begrepet bølge-partikkel-dualisme som er rester fra denne perioden.

Hva bør så komme istedet? Noen hevder at det er umulig å forstå kvantefysikk. Det eneste som er meningsfullt er å lære seg å bruke *kvantemekanikken*, dvs å beskrive systemer matematisk på kvantenivået. Dette er selvsagt umulig i den videregående skolen, og vi bør derfor ikke undervise i kvantefysikk på dette nivået. Dette er jeg ikke enig i. Det er mulig å få en kvalitativ innsikt i noen av de viktige konsekvensene kvantefysikken har. Jeg beskriver nedenfor punktvis hva et slikt kurs kan fokusere på:

- Drøfting av atommodeller bør legges til 3FY når kvantefysikken gjennomgås. Alternativt kan mer av kvantefysikken flyttes ned til 2FY. Bohr-modellen bør ikke gjennomgås med bruk av metaforer som «solsystem i miniatyr». Man bør også unngå å referere til

sirkelbevegelse. En slik drøfting bør i såfall komme til sist og med hovedvekt på de store problemene som en slik metafor har i møtet med kvantefysikken.

- Man bør ikke legge like stor vekt på en rendyrket historisk framstilling. En slik innfallsvinkel medfører for stort fokus på semiklassiske modeller. Dessuten har historikken en tendens til å presenteres på en lineær og overfladisk måte. Ingen læreverk drøfter f. eks. den ignoransen som Einsteins arbeid med den fotoelektriske effekten ble møtt med.
- Jeg mener fortsatt at man bør inkludere fotoelektrisk effekt og interferensforsøk med elektroner. Men man bør tolke disse resultatene på en annen måte. Fotoelektrisk effekt viser at lys *ikke består av bølger*, og interferensforsøk med elektroner viser at elektroner *ikke er partikler*. En slik tolkning fokuserer på at vi ikke kan bruke klassisk fysikk for å beskrive disse størrelsene på en fullstendig måte. Dermed unngår man å bruke begreper som kvanteparadokset og bølge-partikkel-dualismen.
- Man bør legge stor vekt på Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner. Den kvalitative tolkningen av disse bør knyttes til sannsynlighetsbegrepet. Som sagt tidligere er dette en enkel matematisk formel, men innholdet i den er langt fra trivielt. Elevene bør få bruke disse relasjonene over tid, og i mange sammenhenger. Med disse relasjonene oppnår man muligens at elever i større grad klarer å bygge seg en forståelse av at fenomener i kvanteverden ikke kan beskrives av klassisk fysikk. Det vil dessuten kunne brukes for å forklare hva vi mener med at kvantefysikken er indeterministisk, et hovedskille mellom klassisk fysikk og kvantefysikk.
- Det kan legges vekt på makroskopiske eksempler som ikke kan forstås uten en ny fysikk. Det er kanskje mulig å studere hvordan kvantefysikk kan brukes for å forstå virkemåten til halvledere eller annet teknologisk utstyr. Elevene har f. eks brukt sensorer som måler temperatur. Det er kanskje mulig å studere (evt. også bygge) slike sensorer, eller andre sensorer som baserer seg på effekter i halvledermaterialer. Andre makroskopiske eksempler er tunneleffekten som kan forklares ved hjelp av Heisenbergs usikkerhetsrelasjoner. Dette kan brukes til å forklare bl. a. hvorfor hydrogen fusjonerer i solas indre

Et slik undervisningsopplegg (og helt sikkert mange andre alternative opplegg) kan gjennomføres uten at læreplanen i fysikk endres. Jeg må understreke at jeg ikke har utviklet og prøvd ut et slik alternativt opplegg. Det er mitt håp at jeg og andre kan jobbe videre med å utvikle undervisningsmateriell basert på disse prinsippene..

5 Anbefalt lesning og noen nyttige web-adresser

Dersom du etter å ha lest dette ønsker en mer generell innsikt i naturfagenes didaktikk, vil jeg anbefale:

- Sjøberg, S. (1998): *Naturfag som allmenndannelse - en kritisk fagdidaktikk*. Ad Notam Gyldendal, Oslo.

For en grundigere presentasjon av fysikdidaktikk vil jeg anbefale:

- Angell, C. (1996): *Elevers fysikkforståelse. En studie basert på utvalgte fysikkoppgaver i TIMSS*. Dr.scient-avhandling, Universitetet i Oslo.

Denne er det mulig å få kjøpt ved å henvende seg til forfatteren som arbeider ved Skolelaboratoriet for fysikk ved Universitetet i Oslo (e-mail-adresse er carl.angell@fys.uio.no). I avhandlingen presenteres fysikdidaktikk generelt og spesielt elevers forståelse av mekanikk, elektrisitet og magnetisme. Selv om det er en avhandling på høyt akademisk nivå, er den skrevet med tanke på at fysikklærere skal kunne lese den.

Dessuten har TIMSS-prosjektet utgitt noen bøker som bør eksistere i enhver realfagseksjon. Oppgavene og resultatene for fysikkspesialistene presenteres i:

- Angell, C., Kjærnsli, M. og Lie, S. (1999): *Hva i all verden skjer i realfagene i videregående skole?* Universitetsforlaget, Oslo. (ISBN 82-00-45186-0)

Desuten eksisterer det foreløpig tre andre bøker som er utgitt. Alle disse handler om realfagene i skolen og er derfor interessant lesning for alle realister i skoleverket:

- Brekke, G., Kopperstad, T., Lie, S. og Turmo, A. (1999): *Hva i all verden kan elevene i matematikk?* Universitetsforlaget, Oslo. (ISBN 82-00-45158-5)
- Kjærnsli, M., Lie, S., Stokke, K. H. og Turmo, A. (1999): *Hva i all verden kan elevene i naturfag*. Oppgaver med resultater og kommentarer. Universitetsforlaget, Oslo. (ISBN 82-00-45156-9)
- Lie, S., Kjærnsli, M. og Brekke G. (1997): *Hva i all verden skjer i realfagene? Internasjonalt lys på trettenåringers kunnskaper, holdninger og undervisning i norsk skole*. Universitetet i Oslo (ISBN 82-90904-43-6)

Det er også mulig å skaffe seg en innsikt i dette prosjektet ved å se på følgende webadresser:

- <http://www.ils.uio.no/timss/>
 - <http://timss.bc.edu/>
-

Når det gjelder kvantefysikk ønsker jeg ikke å anbefale et bestemt læreverk. Det finnes mange gode standardverk som introduserer til dette temaet. Jeg kan imidlertid anbefale noen mer populærvitenskapelige artikler og bøker:

- Ghaderi, A. og Olsen R.V. (1994): *Tunnel-effekten og lysets hastighet*. Symmetri, Vol.1, nr. 1.
- Gaustad, J. E. (1994): *The Sun Cannot Shine!* Symmetri Vol. 1, nr. 1

Begge disse er kanskje vanskelige å få tak i. Det er mulig å få en kopi fra undertegnede dersom dette er ønskelig.

Jeg kan eller anbefale populære bøker som:

- Capra, F. (1992): *The Tao of Physics*. Flamingo, London.
- Gribbin, J. (1992): *In Search of Schrödinger's Cat*. Black Swan.

Disse og noen andre bøker gir en morsom og kvalitativ innføring i kvantefysikken som også kan leses med stort utbytte av den interesserte og engasjerte elev.

Jeg har også kommet over noen web-adresser som inneholder nyttig undervisningsmateriale.

Et sted som jeg anbefaler sterkt:

- <http://www.colorado.edu/physics/2000/cover.html>

Dette er et meget godt interaktivt nettsted som inneholder ulike guidete turer i deler av moderne fysikk. Sidene inneholder mange gode java-applets (interaktive animasjoner eller virtuelle laboratorier om du vil) som imidlertid krever sitt av skolens telefonlinjer. Jeg har selv prøvd å gjennomføre undervisningstimer med bruk av deler av dette, uten stor suksess fordi antall linjer inn var svært begrenset. Det er å håpe at slike tekniske problemer løses i løpet av kort tid.

Andre interaktive ressurser på nettet er:

- <http://www.ba.infn.it/www/didattica.html>
- <http://www.fisk.edu/vl/Physics/Overview.html>

Det finnes også to alternative undervisningsopplegg som har blitt prøvd ut i henholdsvis Tyskland og USA. Ingen av disse kan overføres uten videre til norsk skole, men noen av idéene kan helt sikkert utvikles og tilpasses:

- http://www.physik.uni-bremen.de/physics.education/niedderer/projects/quanten/skript_eng.pdf
- <http://www.phys.ksu.edu/perg/vqm/>

Andre ressurser knyttet til kvantefysikk:

- <http://www.qubit.org/index.html>
- <http://www.chembio.uoguelph.ca/educmat/chm386/rudiment/tourquan/tourquan.htm>
- <http://medinfo.wustl.edu/~ysp/MSN/libs/areas/physics.html>

For de fleste web-adressene gjelder at jeg ikke kan gå god for absolutt alt som finnes på disse sidene. Det er f. eks. ikke alt som kan brukes i undervisningen. Flere av disse sidene har også pekere videre til andre sider som også kan være av interesse.